TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA

DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 131-Julho-1942

CIMENTO

SECIL

Fabricado pelos mais modernos processos e preferido para todos os trabalhos de responsabilidade.
Sacos de papel ou de juta com 50 Kg.
Barricas de 180 Kg.

S E C I L

COMPANHIA GERAL DE CAL E CIMENTO
RUA DO COMERCIO, 56, 3.º
LISBOA

União Eléctrica Portuguesa

S. A. R. L.

SEDE
Rua Duque de Loulé, 240 — Pôrto
Telef. 2828 — 2829 — 2830 — Est. 90

DELEGAÇÃO
R. António Maria Cardoso, 13, 2.º-Lisboa
Telefones 27232 — 27233 — Est. 365

ELECTRICIDADE DO LINDOSO
E DAS CENTRAIS DO FREIXO E DA CACHOFARRA

A **União Eléctrica Portuguesa** distribui e vende electricidade nos **distritos** de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU LEIRIA e de SETÚBAL, pela mais extensa rêde de alta-tensão em Portugal (mais de 1.200 kms), levando fôrça motriz às FÁBRICAS e luz a CIDADES, VILAS, ALDEIAS e LOGARES

A **U. E. P.** facilita a electrificação de Fábricas e oferece as maiores vantagens nas suas tarifas

Consultar a **U. E. P.** e consumir a sua energia é **proveitoso negócio**

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de tôdas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

NÚMERO
131
Julho — 1942

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA
DOS
ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Redacção e Administração: AV. ROVISCO PAIS, IST / LISBOA-N. / TEL. 49144 (linha 50)

DIRECTOR
NUNO ABRANTES
ADMINISTRADOR
LUIZ DE ALMEIDA ALVES
BIBLIOTECÁRIO
JOSÉ DE LUCENA
CORPO REDACTORIAL
Fernando Monjardino
Francisco de Almeida e Castro
José Passos Coelho
Fernando Moitinho de Almeida

NÚMERO AVULSO 5$00
ASSINATURAS:

	3 N.os	6 N.os	12 N.os
Continente e Ilhas	13$50	26$00	50$00
Colónias Portuguesas e Espanha...	—	35$00	60$00
Estrangeiro...	—	40$00	70$00

EDITOR E PROPRIETARIO
ASS. DOS ALUNOS DO I. S. T.

COMPOSTO E IMPRESSO
NAS
OFICINAS FERNANDES
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Barragem de Santa Luzia — Betonagem.

		Págs.
Aspectos da moderna geometria diferencial	Dr. Mira Fernandes	949
O problema de abastecimento de água da cidade de Aveiro	Eng.º Ricardo Esquível Teixeira Duarte	960
Considerações sôbre linhas de influência nos sistemas triangulados	António de Sousa Coutinho	976
Algumas notas sôbre o nivelamento da via férrea	Jorge A. Carqueja Gonçalves	981
Excursão de estudo dos alunos do 6.º ano de engenharia civil		986
Publicações recebidas		990

STABILO

SCHWAN
Bleistift-Fabrik A.-G.
NÜRNBERG

Representante:
A. Ferreira da Silva, Porto.
Rua Alexandre Braga, 82. Tel. 6132

Lápis de desenho
em 18 graduações 7 B — 9 H

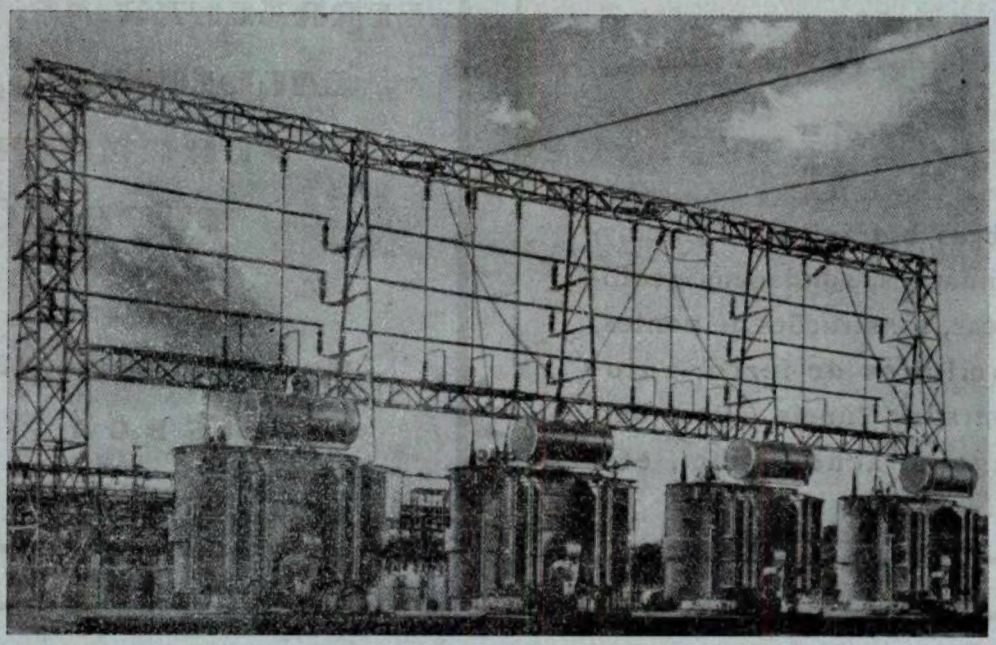
Lápis de côr
O utensílio precioso em 24 côres

Novidade: **STABILO** (Cellomin) **D. R. P.**

O lápis-tinta com a mina especial
resistente às influências climáticas

GENERAL ELECTRIC

Schenectady, N. Y.



Sub estação ao ar livre de 25.000 kVA, 220.000 volts

Motores e dínamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidroeléctricas. Instalações para melhorar o factor da potência. Tracção eléctrica. Máquinas, Transformadores e Electrodos para soldadura eléctrica. Fornos eléctricos. Automotoras eléctricas e Diesel-Eléctricas. Turbinas de vapor. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Cabos e fios. Electrificação de Fábricas. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc. Máquinas frigoríficas.

THOMSON
GENERAL ELECTRIC

Portuguesa, L.da

LISBOA

Rua do Norte, 5

Telef. 28135-28136

Sociedade Metropolitana e Colonial de Construções, L.DA "Somec"

Rua da Madalena, 163, 1.º - Lisboa

Telef. 23164 e 23165

Obras hidráulicas, edifícios, fundações, sondagens geológicas, construções de pontes, caminhos de ferro, auto-estradas, túneis, silos, barragens, açudes, etc., etc.

Sociedade Industrial Metalurgica

Responsabilidade Limitada

(REGISTADO)

SERRALHARIAS, CALDEIRARIA, FERRARIA, FUNDIÇÕES

ESCRITÓRIO

Rua de S. Tiago, 13

LISBOA

Telefone 26572

Cimento «Liz» hidrofugado «N»

PRÓPRIO PARA

IMPERMEABILIZAÇÃO DE OBRAS

REBOCOS, FUNDAÇÕES, PAREDES, ETC.

Substitue com vantagem de ordem técnica e económica todos os impermeabilizadores conhecidos.

Em sacos de papel de 50 quilos

Peçam instruções para o seu emprêgo

Sede: Rua do Cais de Santarém, 64, 1.º — LISBOA

Filial: Rua de Santo António, 190-A, 1.º — PORTO

Agentes em todo o País

Previnem-se os nossos assinantes e anunciantes que a revista suspende, como de costume, a sua publicação durante os meses de férias.

TÉCNICA

NUNO ABRANTES
DIRECTOR

ANO XVII - N.º 131 JULHO 1942

Aspectos da moderna geometria diferencial

Oração inaugural da secção de Matemática do Congresso Luso-Espanhol, realizado no Pôrto em Junho de 1942

PELO DOUTOR MIRA FERNANDES
(PROFESSOR DO I. S. T.)

O que torna, sobretudo, difícil, por vezes com desespêro, a resolução dalguns grandes problemas, é o seu isolamento no conjunto das teorias, a imperceptibilidade dum traço de união entre o seu teor e o de outras questões já resolvidas. A solução há-de, provàvelmente, integrar essas questões nalgum domínio mais ou menos devassado pela investigação e pela crítica, mas não se vislumbra qual êle seja. Por isso, se nos afigura um progresso tôda a descoberta de afinidades doutrinárias, embora sem outros imediatos benefícios, e tôda a revelação duma analogia de métodos, embora sem esperança duma identificação. Porquê? Porque êste convívio das teorias, na essência ou na forma, esta aproximação de trajectórias do conhecimento é uma revelação de *ordem*, uma espectativa de bom êxito, um indício de segurança; e ainda, tornando possível o exame simultâneo de domínios diferentes, com variação das perspectivas, um fecundo esclarecedor de obscuridades e um animador da criação científica. Quando o resultado dum raciocínio nos apresenta particularidades de forma cuja razão se não vislumbra, no quadro dos conhecimentos, logo surge a suspeita de que essa estranha circunstância tem um motivo de ordem geral que importa averiguar.

É por isso que, em comentário às formas dos polinómios de Poincaré das quatro grandes classes de grupos simples, determinadas por Brauer e Pontrjagin, formas tão particulares e tão vizinhas, o prof. Cartan se não esquece de advertir que, como para quási tôdas as propriedades dos grupos simples, primeiro verificadas individualmente e depois justificadas por uma razão de ordem geral, devemos esperar que essas formas sejam feições particulares duma mesma lei.

E que a suspeita não é quási nunca desmentida, provam-no muitas proposições, algumas dum conteúdo bem simples, que vieram elucidar, tão abundantemente, numerosos problemas e esclarecer, com tanta nitidez, arrojadas conjecturas. Citarei, como exemplo, o princípio da dualidade de Alexander.

Destas quási sempre insupríveis dificuldades do isolamento resulta que o êxito da investigação se subordina, em grande parte, à perícia do confronto, à oportunidade da utilização, à justeza do presságio. Por isso, a aptidão inventiva tem como esteio, o poder de relacionar, e a originalidade, como título, a maneira de inquirir. E não é êste, no domínio matemático, um dos seus menores títulos, aproximando (se não identificando, na audaciosa aspiração de Hermite) a especulação abstracta da análise experimental; o que demanda, bem entendido, uma orientação lógica elaborada no campo

científico e sob os seus auspícios, e integrando-se na mesma natureza do conhecimento. Pelos seus méritos responde a sua fecundidade: *tribunal sem apelação,* como disse Hilbert. Fecundidade que, em muitos domínios, é quási prevista: antecipadamente acreditada, perdoe-se-me o figurativo do *similè,* pelo aspecto da païsàgem e pela natureza do ambiente. Fecundidade que não surpreende, embora seja prodígio, e que só se debilita para dar vida a vergônteas de novas fecundidades! Esta atitude espiritual perante a ciência dos nossos dias, justificada pela elucidação recíproca das teorias, pela abundância dos conhecimentos e pela confiança nos métodos, não a podia tomar o génio criador dêsses germens isolados de fecundidade: um Galileu ou um Galois.

Tendo-me sido dada, meus Senhores, a incumbência de proferir a oração inaugural desta secção do Congresso, encargo a que corresponde, na tradição destas assembléias, a exposição comentada dum tema científico de primordial interêsse ou de singular relêvo, a crítica dum pleito não derimido, quando não possa ser o alvitre de novos métodos, ou o anúncio de novas doutrinas; tendo-me sido confiada, dizia eu, a missão, a tão precários títulos atribuída, de iniciar os trabalhos desta ilustre congregação, pareceu-me digna daqueles que me escutam a comemoração, embora desluzida e sumária, dos mais recentes e destacados progressos da estruturação dos espaços anholónomos, realizados à custa dum dos mais fecundos conúbios doutrinários da ciência moderna: o da representação grupal com o cálculo das variações. De resto, essa cooperação não se efectuou, nem seria possível, sem luzido e precioso acrescentamento dos seus agentes, ao qual terei de me referir, para inteligência do meu asserto e elucidação do meu propósito.

Como é sabido, vinha dos últimos anos do terceiro quartel do século passado a sistematização da geometria, realizada por Klein à custa do conceito de grupo. O *Programa de Erlangen* era um protesto iconoclasta contra os exclusivismos da escola de Staudt e contra a pretendida soberania da geometria projectiva, então triunfante; mas era, sobretudo, a primeira definição rigorosa de geometria holónoma: *ciência das propriedades dos espaços abstractos que são invariantes para tôdas as transformações dum grupo, definível nesse espaço.* Era ainda o móbil imediato da estruturação da teoria dos grupos de transformações que, na parte relativa aos grupos contínuos, é principalmente devida a Sophus Lie; elaboração esta que é, ao mesmo tempo, uma obra de génio e um prodígio de prontidão: foi delineada em quatro meses!

Seis anos antes, em 1867, na célebre Memória *Sôbre as hipóteses que servem de fundamento à Geometria,* formulava Riemann uma concepção de espaço, apoiada em princípios inteiramente diferentes e, à primeira vista, sem nenhuma espécie de relação com os que servem de base às geometrias de Klein. Para estas, o princípio fundamental é o axioma de *igualdade,* iluminado pela noção do grupo; para Riemann, o conceito primordial é o de *distância,* definida entre dois pontos infinitamente próximos pela forma quadrática que caracteriza a métrica do espaço. E, como os coeficientes desta forma são funções do ponto considerado, nos espaços de Riemann a métrica é *local e direccional,* o que os torna *heterogéneos.* Os espaços de Klein são *homogéneos,* como o espaço ordinário. E não se divisava, de princípio, a maneira de congraçar, numa mesma estrutura, concepções aparentemente tão diversas; o traço de união entre figurações abstractas de aspecto tão irredutível: a homogeneidade global e a heterogeneidade local.

Logo nos primeiros anos de existência da geometria de Riemann, uma ou outra restrição nesta heterogeneidade dava origem, como o teorema de Schur, a mais íntimo convívio entre os dois argumentos; e a circunstância de quási tôdas as leis e factos poderem ser traduzidos igualmente bem, adoptando um ou outro dos dois conceitos de espaço, fazia supor que seria possível reüni-los numa mesma síntese geométrica. Não se faria essa síntese sem a criação de novos domínios, sem o concurso doutras idealizações, sem o auxílio de mais ajustada aparelhagem algorítmica. Iniciaram-na a idéia de *conexão* e o princípio de *transporte;* acentuou-a uma utilização oportuna do conceito de *espaço de grupo;* amadureceu-a a teoria da *representação grupal,* por intermédio da linearização a que se subordinam os espaços adjuntos; e deu-lhe maioridade o *cálculo das varia-*

ções, apoiado numa adequada escolha do elemento gerador do espaço. Como se vê, nesta urdidura não escasseia a quantidade: e, em breve, veremos que também não falta à harmonia.

O problema local não era difícil de resolver, nas relações entre o espaço de Riemann e o espaço euclideano. É sabido que o primeiro se reduz ao segundo quando os coeficientes da forma fundamental satisfazem a certas condições (anulamento do tensor de curvatura). E é sempre possível (de infinitas maneiras) construir uma forma quadrática euclideana cujos coeficientes tenham, num dado ponto, os mesmos valores que os coeficientes correspondentes duma forma de Riemann. Diz-se então que essa forma define um espaço euclideano *tangente,* nesse ponto, ao espaço de Riemann considerado. E é também possível (ainda de infinitas maneiras) construir um espaço euclideano tangente tal que, não só os coeficientes da forma quadrática que o define, mas ainda as suas primeiras derivadas parciais coincidam, num certo ponto, com os elementos correspondentes da forma que define o espaço de Riemann. Êsse é um espaço euclidano *osculador.* E é o confronto, *in loco,* do espaço riemanniano com os seus espaços euclideanos tangentes e osculadores que vem suprir, no estabelecimento das suas relações com o espaço equiforme, a falta dum grupo característico, paradigma das suas propriedades geométricas.

Como relacionar, porém, entre si, em pontos diferentes do mesmo espaço de Riemann, os seres e propriedades geométricas *locais,* não havendo entre êles, *à priori,* nenhuma correspondência imposta pela natureza do próprio espaço? Com que restrições será possível integrar, num único espaço homogéneo, os espaços homogéneos tangentes a uma variedade riemanniana, em pontos que não sejam infinitamente próximos? Quando essa integração puder fazer-se sem omissões, em que circunstâncias é que ela se realiza sem repetições?

Foi, como se sabe, o conceito de *transporte,* estabelecido por Levi-Civita em 1917, que veio iniciar a resposta a tôdas estas questões. Por intermédio duma variedade euclideana ambiente, e para um certo caminho entre dois pontos A e B duma variedade riemanniana, é possível definir, em B, o vector *paralelo* a um certo vector em A. Hermann Weyl definiu o mesmo conceito duma maneira intrínseca, dispensando a variedade ambiente; e, afirmando a relatividade do comprimento do vector transportado, chega à concepção de espaços heterogéneos mais gerais que os espaços de Riemann. Struik e, principalmente, Schouten efectuam a classificação sistemática de todos os transportes afins, de que são casos particulares os transportes de Riemann e de Weyl. Mas foi Cartan quem pôs em evidência que o transporte não é apenas um processo de relacionação de vectores, em pontos diferentes do espaço, ao longo duma dada linha; êle é, principalmente, o instrumento realizador daquela procurada integração, a que atrás aludi, de todos os espaços homogéneos tangentes à variedade, nos pontos dessa linha, num espaço homogéneo único. E já não é necessário que êste espaço homogéneo da *conexão* seja um espaço afim: pode ser um espaço projectivo, onde já não existe a noção de paralelismo, ou um espaço conforme, onde nem sequer há vectores.

Podemos, assim, classificar os espaços heterogéneos, de harmonia com as suas possibilidades de conexão. Se um espaço de Riemann admite uma conexão euclideana ao longo duma linha qualquer, podemos dizer que êle é um espaço euclideano *não holónomo,* admitindo o mesmo grupo fundamental da geometria euclideana (o grupo dos deslocamentos); mas as transformações dêsse grupo só são válidas na passagem dum ponto qualquer para outro infinitamente próximo. Entre os espaços heterogéneos, destacam-se, portanto, os espaços *não holónomos de grupo fundamental,* ou *espaços de conexão kleineana.*

No entanto, como já dissemos, entre dois pontos da variedade a distância finita a conexão é, geralmente, multiforme, porque é essencialmente linear. Tomando o espaço tangente no primeiro ponto para espaço da representação, a posição do segundo ponto e a orientação de qualquer sistema de referência que o tem por origem, depois de efectuado o transporte, dependem do caminho ao longo do qual a conexão se realizou. Se o segundo ponto coincide com o primeiro e o contôrno fechado de transporte é infinitesimal, pode acontecer:

1.º Que o sistema de referência, depois do desenvolvimento, venha a coincidir consigo mesmo, qualquer que seja o contôrno considerado. Nesse caso, o espaço é *holónomo*.

2.º Que o sistema de referência não coincida consigo mesmo, depois de efectuada a representação. O espaço é *anholónomo*. E então, a divergência de origem dos dois sistemas confere ao espaço *torsão*; a divergência de orientação confere ao espaço *curvatura*. O espaço de paralelismo absoluto, utilizado por Einstein, o espaço de Clifford e o espaço de que me servi no esbôço de teoria unitária elaborado em 1933 (1), têm torsão, mas não têm curvatura. O espaço riemanniano ordinário tem curvatura mas não tem torsão.

Mas há mais. Como é evidente, as infinitas transformações do sistema de referência, correspondentes aos infinitos contornos fechados de origem A, formam um grupo, visto que a seqüência de dois contornos fechados é ainda um contôrno fechado. Pois bem: êsse grupo, a que Cartan chamou de *holonomia*, é o mesmo, qualquer que seja o ponto A do espaço considerado e é um subgrupo do grupo fundamental da conexão. Assim como o grupo de Galois duma equação algébrica mede o grau de irracionalidade das suas raízes, o grupo de holonomia mede o *afastamento* entre o espaço considerado e o espaço homogéneo a que a conexão se refere. E, se o grupo fundamental tiver algum subgrupo ao qual pertença também o grupo de holonomia, o espaço em questão pode ser considerado como um espaço anholónomo, tendo como grupo fundamental êsse subgrupo. Quere dizer, as geometrias dos espaços anholónomos subordinam-se, como as geometrias de Klein.

A circunstância de ser o mesmo o grupo de holonomia, qualquer que seja o ponto considerado do espaço anholónomo, é uma afirmação de uniformidade, restritiva e sistematizadora da multiformidade intrínseca do transporte, e as suas últimas conseqüências estão, porventura, ainda por estabelecer.

Suspendamos, por momentos, esta concisa menção de triunfos, esta ligeira referência aos êxitos conseguidos pela Geometria moderna, no empreendimento de subordinar a concepção riemanniana ao critério de Klein. É tempo de averiguar até que ponto tem sido possível às geometrias holónomas, numa salutar e fecunda competição de cortezias, integrar-se no conceito de Riemann, embora com sacrifício da natureza pontual do elemento gerador do espaço.

Sabia-se, quási desde a criação da sua teoria, que a estrutura infinitesimal dos grupos de Lie contém quási todos os elementos necessários para o estabelecimento das suas propriedades topológicas; e deve-se principalmente a Hermann Weyl o esclarecimento, por intermédio dessas propriedades, de certas proposições de natureza algébrica, relativas à estrutura infinitesimal e à representação linear dos grupos. E já vamos ver como esta recíproca prestação de serviços ilumina o entendimento e facilita a aproximação dos dois conceitos geométricos.

Em 1926, Schouten e Cartan criavam os *espaços de grupo*. Dado um grupo com r parâmetros, é possível *representar* cada transformação do grupo por um ponto duma variedade topológica (no sentido de Hausdorff) com r dimensões. Esta variedade é orientável e o seu grupo fundamental, ou grupo de Poincaré, é abeliano. Além disso, se o grupo dado, finito e contínuo, fôr compacto (ou fechado) a característica de Euler é nula.

Se o grupo G considerado é um grupo de Lie, êle admite um anel de transformações infinitesimais, com r elementos de base, se fôr r a ordem do grupo: isto é, tôda a transformação infinitesimal do grupo é da forma

$$\sum_{i=1}^{r} e^i X_i$$

sendo X_i os elementos de base e e^i constantes reais arbitrárias. Seja Γ o grupo das transformações lineares dos coeficientes e^i que fazem passar de cada transformação infinitesimal $\sum_i e^i X_i$ à transformação $a\,(\Sigma\, e^i X_i)\, a^{-1}$, sendo a uma transformação qualquer de G. Êste grupo Γ que é, afinal, o grupo dos automorfismo internos de G, é isomorfo de G e

(1) *Rendiconti della R. Accademia dei Lincei* — (6) — 7 — 1.º semestre de 1933 (p. 227-230).

chama-se o seu grupo *adjunto linear*. Se G é compacto (ou fechado), Γ também o é. Mas Weyl demonstrou que *todo o grupo linear fechado deixa invariante uma forma quadrática definida positiva*. Consideremos, então, no grupo linear adjunto Γ, aquêle subgrupo α que corresponde, no isomorfismo entre G e Γ, ao *maior* subgrupo de G que deixa fixo um ponto do espaço E, onde actuam as suas transformações. Sendo α fechado, existirá, no espaço homogéneo E, uma métrica riemanniana, invariante pelas transformações de G, definida por aquela forma quadrática a que se refere o teorema de Weyl. E assim se introduzem, nas geometrias de espaço homogéneo de Klein, os conceitos métrico-locais da geometria de Riemann, à custa do grupo linear adjunto.

Esta analise de Cartan, uma das mais belas da teoria dos grupos, utilização genial do célebre teorema de Weyl a que atrás aludi, mostra bem que não eram promessa vã os anunciados esmeros de cortezia, na aproximação das duas teorias.

Mas há mais. As equações de estrutura da teoria clássica dos grupos contínuos, ou com a forma

$$(X_i\ X_j) = c_{ij}^k\ X_k$$

expressa nos parêntesis $(X_i\ X_j)$, que lhes deu Sophus Lie, e que é de todos conhecida; ou com a forma mais condensada e sem elementos espúrios,

$$V_{[ij]} = c_{ij}^k\ V_k\ , \quad (^1)$$

expressa nos vectores associados, que há tempo estabeleci, referem-se ao espaço das coordenadas; e, embora equivalentes às equações de estrutura de Cartan

$$(\omega^i)' = \frac{1}{2}\ c_{jki}\ [\omega^j \omega^k]\ ,$$

expressas nos parâmetros, não têm, como estas, tão adequada capacidade de interpretação das propriedades do espaço de grupo, nem inculcam tão sugestivamente, pelo seu significado, as razões profundas da anholonomia dos espaços generalizados que resultam do espaço holónomo a que superintende o grupo considerado. Os ω^i das equações de estrutura de Cartou, componentes relativas do deslocamento infinitesimal do sistema de referência, dum ponto para outro infinitamente próximo do espaço de grupo, são expressões pfaffianas, em relação aos parâmetros; e êsse facto traduz, em linguagem paramétrica, o primeiro teorema fundamental da teoria clássica de Lie. As equações de estrutura são as condições de compatibilidade a que essas componentes devem satisfazer, e, por isso, contêm em si tôda a geometria diferencial do espaço kleineano definido pelo grupo.

Se elas são satisfeitas na sua totalidade, o espaço é holónomo e o sistema de referência vem coincidir consigo mesmo, depois de percorrido qualquer contôrno infinitesimal fechado. Pois bem: o mesmo acontece se o contôrno fechado, embora finito, se puder reduzir a um ponto, por deformação contínua; mais uma propriedade topológica, caracterizada pela estrutura do grupo.

Se as equações de estrutura só são, em parte, satisfeitas, o espaço é anholónomo; e o seu tipo de anholonomia depende das equações de estrutura que já se não verificam. Consideremos um espaço de Klein a n dimensões, o espaço euclideano, por exemplo, e sejam

$$\begin{aligned} a)\quad & \omega'_i = \sum_h [\omega_h\ \omega_{hi}] \\ b)\quad & \omega'_{ij} = \sum_h [\omega_{ih}\ \omega_{hj}] \end{aligned} \qquad (i, j = 1,2 \ldots n)$$

as suas equações de estrutura: as do tipo *a*) relativas às componentes pfaffianas da translacção, e as do tipo *b*) relativas às componentes da rotação. Dada arbitràriamente uma forma quadrática ds^2, definindo um espaço de Riemann, é sempre possível definir uma lei de transporte infinitesimal que satisfaça às equações do tipo *a*); e é êsse o significado do conceito de paralelismo de Levi-Civita.

Mas, em geral, as equações de tipo *b*) já não serão satisfeitas, e o espaço tem *curvatura*. Inversamente, é possível satisfazer às equações do tipo *b*), sem que sejam verificadas as equações do tipo *a*), e temos então um espaço sem curvatura, mas com *torsão*. Outras modalida-

(1) Vide nota do autor — *Rendiconti della R. Accademia N. dei Lincei* — Vol. XXVII — série 6.ª — 1.º sem. — fascículo 12 — (pg. 631) 1938.

des intermédias de espaços anholónomos de conexão euclideana serão igualmente definíveis, possuindo, ao mesmo tempo, torsão e curvatura.

Mas, em tôdas elas (e êste comentário é fundamental) subsistem as propriedades da geometria diferencial euclideana das *linhas;* outro tanto não acontece às propriedades geométricas das *superfícies.* Porquê?

Porque os valores dos primeiros membros das equações de estrutura já não são os mesmos, no caso euclideano e no caso riemanniano, quando o número de variáveis é maior que a unidade. É por isso que a noção de *plano,* se a quisermos definir pelas propriedades diferenciais que a caracterizam na geometria euclideana, já não existe na geometria de Riemann.

Êste facto está intimamente relacionado com outro que tem sido, na moderna geometria diferencial, duma extraordinária fecundidade, esclarecendo e generalizando o conhecimento das propriedades geométricas: a variabilidade essencial da geometria holónoma, correspondente a um dado grupo, com o elemento gerador do espaço.

Se êste deixa de ser o ponto, para ser um elemento linear, um elemento de área, ou um elemento de contacto de ordem superior, embora o grupo fundamental seja o mesmo, a geometria que êsse grupo gera é completamente diferente; e esta diferença transmite-se aos espaços generalizados anholónomos.

A afirmação do programa de Erlangen supunha que o elemento gerador era o ponto. É necessário modificá-la nos seguintes termos: *a cada grupo e a cada elemento gerador corresponde uma geometria.*

Nesta ordem de idéias se criaram a geometria de Finsler, de elemento linear, a geometria de Cartan, de elemento superficial, e as geometrias de ordem superior de Kawaguchi, a que já vou referir-me. Mas a estruturação destas geometrias não foi possível sem o concurso de outros domínios do pensamento matemático, que, por sua vez, muito lucraram com essa colaboração. O cálculo das variações, o cálculo absoluto generalizado de Vitali e de Kawaguchi, a teoria das equações diferenciais e ainda a teoria da representação grupal esclarecem e são esclarecidos por essa nova ordenação de conceitos geométricos.

Os métodos variacionais, animados, desde a criação da análise funcional, pela extensão do conceito lagrangiano de variação, feita por Volterra, e, posteriormente por Fréchet e Gateaux; engrandecidos pela subsistência, nos espaços funcionais, dos teoremas que lhes servem de fundamento; fortalecidos pelo uso da teoria dos grupos, iniciado por Emmy Nöther e Radon, que conseguiu simplificar todos os problemas variacionais que são invariantes em relação a um conhecido grupo de transformações; os métodos variacionais, dizia eu, tiveram, nos últimos anos, um notável incremento, com a utilização sistemática dos processos topológicos, concebidos por Poincaré e ampliados por Hilbert, numa genial intuïção da grande proficuïdade da análise qualitativa, valorizados pela obra de Birkhoff e adaptados à resolução dos problemas extremais pelos trabalhos de Morse, Lusternik e Schnirelmann e seus continuadores.

A obra de Morse, a que êle chama *cálculo das variações no sentido largo,* apoia-se, como se sabe, na consideração de *classes* de soluções das equações de Euler, definidas pela ordem mais elevada das derivadas existentes; de sistemas que coincidem com os seus *adjuntos;* e, sobretudo, no uso sistemático dos espaços riemannianos, para a representação das funcionais, o que permite a passagem do sentido *estreito* (ou diferencial) para o sentido *largo* dos problemas, com uma comodidade que não têm os espaços euclideanos, e que resulta, principalmente, do ajustamento do cálculo absoluto à análise funcional.

Os problemas de limites, na obra de Morse e da sua escola, são de natureza topológica; e nela são esclarecidos numerosos resultados de Poincaré e Birkhoff.

A concepção de Lusternick e Schnirelmann, numa ordem de idéias semelhante, tem uma metodologia diferente. Definidos os conceitos de *deformação* dum conjunto, num espaço abstracto qualquer, e de *imagem* dum conjunto fechado num espaço *compacto,* os autores chamam *classe topológica* de conjuntos fechados, num espaço compacto, a tôda a família de conjuntos fechados que, contendo um certo conjunto, contém todos os que dêle derivam por deformação, no espaço compacto considerado. Por exemplo, o conjunto de tôdas as

curvas fechadas, traçadas sôbre a esfera (curvas que podem, inclusivamente, passar por todos os pontos duma certa região, à maneira das curvas de Peano), é a classe topológica das imagens do circulo sôbre a esfera.

À custa do conceito de classe topológica, demonstra-se o princípio de existência do *ponto estacionário;* define-se a *categoria* dum conjunto fechado, em relação ao espaço compacto em que existe; e demonstra-se, finalmente, que *tôda a função definida numa variedade sem fronteiras e de categoria K, em relação a si mesma, tem, nessa variedade, K pontos estacionários.* E aí está como a teoria topológica permite determinar o número de soluções dum problema variacional.

É bem conhecida a fecundidade dos métodos do cálculo das variações, graças ao alheamento de considerações infinitesimais, na estruturação da geometria directa de Bouligand. E é já hoje clássica a sua intimidade com a teoria espectral dos valores próprios, tanto das equações diferenciais, como das equações integrais lineares e das equações às diferenças: as funções próprias são, como se sabe, as extremais duma expressão funcional, com certas condições adjuntas e os valores próprios são os correspondentes valores dessa expressão funcional.

Há, porém, nos problemas variacionais, uma circunstância de natureza invariante, advertida por Milner, cuja valia nunca será demasiadamente encarecida, e que torna o algoritmo do cálculo das variações eminentemente próprio para a investigação geométrica. É esta: se um determinado problema admite uma forma variacional, ao seu enunciado é indiferente o tipo de geometria adoptado para a sua representação, embora haja razões de comodidade que aconselhem preferências de padrão geométrico.

Na dinâmica, por exemplo, se um ponto descreve uma trajectória de estacionaridade, em relação a um princípio variacional $\delta\int dA = o$ (onde dA representa o invariante de *acção*), o seu movimento pode, indiferentemente, interpretar-se em qualquer geometria. Com efeito,

$$\delta\int dA = \delta\int \frac{dA}{ds}\,ds = \delta\int W ds$$

qualquer que seja ds. Portanto, dA pode ser factorizado, de qualquer maneira, em *gradiente de acção* W *e intervalo* ds *;* o primeiro relacionado com o campo de fôrças, o segundo definindo a geometria do espaço. Na mecânica clássica, fazendo $\frac{dA}{dt} = L$, a equação toma a forma $\delta\int_{t_0}^{t_1} L dt = o$, do princípio de Hamilton; na teoria da relatividade, fazendo $dA = ds$, toma a forma $\delta\int ds = o$, da equação variacional das geodésicas. Na mecânica clássica, confere-se à função L o encargo de explicar o movimento não uniforme; na mecânica relativista, atribue-se essa incumbência à geometria, definida por ds. Mas, entre essas duas atitudes extremas, certamente as mais simples, há infinitas possibilidades de repartição do encargo pelos factores da acção: W e ds.

E é nestas valiosas faculdades de universal intérprete de tôdas as linguagens geométricas, que deve, principalmente, assentar o grande valor algorítmico do cálculo das variações. As geometrias modernas, da escola japonesa de Kawaguchi, confirmam, como veremos, esta presunção, da qual é, ainda, garantia, precisamente por intermédio dessas geometrias, o seu poder construtivo na elaboração da Geometria dos sistemas de equações diferenciais.

Na teoria da representação grupal, iniciada, como todos sabem, pela dos grupos finitos, por Frobenius, faz-se corresponder, no espaço da representação, uma transformação de variáveis a cada elemento do grupo considerado, de modo tal que, à composição de dois elementos do grupo, corresponde o produto das respectivas transformações. O caso mais simples, e também o mais importante, é aquele em que as *transformações-imagem* são lineares e homogéneas. Se tôdas as transformações do grupo imagem conservam um certo sub-espaço do espaço de representação, esta diz-se *redutível;* e tôda a representação redutível pode ser decomposta, duma só maneira, em representações irredutíveis. É sobretudo, a Weyl que se deve a teoria da representação dos grupos contínuos por grupos de transformações lineares.

No caso dos grupos finitos ortogonais, estabelecia-se a existência duma certa forma de Hermite, invariante para tôdas as transforma-

ções do grupo: bastava construir uma forma de Hermite definida qualquer, submetê-la a tôdas as transformações do grupo e efectuar a soma das formas transformadas.

Na teoria de Weyl, relativa aos grupos contínuos, êste processo somatório é substituído por um processo de integração. De que maneira? Constrói-se um elemento de volume, no espaço do grupo, gozando de certas propriedades de invariância; submete-se uma forma hermiteana definida qualquer a tôdas as transformações do grupo; e integra-se, utilizando o elemento invariante de volume, anteriormente definido. Se o grupo é fechado, a integração pode estender-se a tôda a variedade do grupo. Se o sistema de coordenadas é convenientemente escolhido, as transformações do grupo são *unitárias*.

E o *carácter* da representação, isto é, o *traço* da matriz de transformação é independente do sistema de coordenadas. Seguidamente, utilizando a ortogonalidade funcional e a teoria das equações integrais, Weyl determina os valores próprios e as funções próprias correspondentes a um determinado núcleo. O conjunto dos elementos matriciais de tôdas as representações unitárias e irredutíveis forma, no espaço de grupo, um sistema completo de *funções de base*, no qual podem ser linearmente expressas tôdas as funções dêsse espaço. O número daquelas representações é igual ao número de classes de equivalência.

Há aqui, neste método transcendente de Weyl, possibilidades de conversão num método algébrico, utilizando as transformações infinitesimais geradoras do grupo; o que o aparenta com o método de Cartan, como, de resto, a sua estrutura integral o relaciona com os métodos de Schur.

Mas a sua envergadura é muito maior, permitindo generalizar, em domínios onde não há possibilidades de introduzir padrões contínuos, como são, por exemplo, os domínios intra-atómicos, uma concepção de medida que não é já traduzida por um *número*, mas por um *conjunto;* dando lugar a uma espécie de geometria unitária, onde a distância é representada por uma forma de Hermite.

E, embora os seus métodos sejam analíticos, nem por isso esta concepção deixa de avizinhar-se, pelo seu conteúdo substancial, daquele simbolismo geométrico e hermítico, preconizado e tão largamente desenvolvido por Dirac, na estruturação da mecânica atómica. Já se não trata, bem entendido, duma generalização do conceito espacial riemanniano, de transporte característico e métrica subordinante, qualquer que seja o elemento gerador. A sua origem pertence ao domínio algébrico.

Nos últimos anos, a obra de Weyl e seus colaboradores atingiu o almejado propósito da construção algébrica directa, na teoria da representação linear, e, por seu intermédio, o da determinação dos invariantes algébricos dum grupo. O objectivo atingido, tal como Weyl o exprime no seu recente livro sôbre os grupos clássicos, é êste: *Para um dado grupo de transformações lineares, e no espaço vectorial que lhe serve de suporte, decompor o espaço dos tensores duma certa ordem nos seus subespaços invariantes irredutíveis.* Ou ainda: *Determinar as várias classes de quantidades, obedecendo a uma lei linear de transformação, que podem ser construídas, no domínio de cada grupo, com o material dos tensores.*

Não devo abusar, meus Senhores, da atenção dos que tão benèvolamente me acompanham nesta ligeira, incompleta e desluzida sinalização dos mais notáveis progressos da teoria dos espaços generalizados; e, por isso, serei breve na referência àquêles espaços em que o elemento gerador já não é o ponto, mas sim, um elemento mais complexo.

Na tese de Finsler, de 1918, se inicia a estruturação dos espaços de elemento linear, que tem o seu nome, e cuja axiomática Cartan estabeleceu sôbre *cinco* postulados, que podem reduzir-se a *três*, como algures adverti [1].

O elemento gerador é *dual:* um *ponto* e um *vector contravariante*, definidor duma direcção, nesse ponto. E as suas relações com o cálculo variacional são imediatas: as linhas que, no espaço de Finsler, generalizam as geodésicas dos espaços de Riemann, são as extremais $x_i = x_i(t)$ do problema variacional

$$\delta \int f\left(x^i, \frac{dx^i}{dt}\right) dt = 0 \,. \quad (i = 1,2 \ldots n)$$

[1] Vidé *nota* do autor: *Assiomatica degli spazi di elemento lineare (Portugaliae Mathematica,* vol. II, fasc. I, 1940).

Alguns anos mais tarde (1933) estruturava Cartan os espaços cujo elemento gerador é também *dual* e constituído por um *ponto* e um *vector covariante* (ou por um *ponto* e um *elemento de área*); e as hipersuperfícies mínimas que, neste espaço, generalizam as dos espaços de Riemann, são também as extremais dum problema variacional:

$$\delta \int_{(n-1)} f\left(x^i, \frac{\partial x^i}{\partial u^\alpha}\right) du^1\, du^2 \ldots du^{n-1}.$$

Nos espaços de Finsler há só um parâmetro; nos de Cartan há $n-1$ parâmetros. E podem, naturalmente, considerar-se tipos espaciais análogos, em que o número k de parâmetros está compreendido entre estes dois valores extremos. Todos êles, porém, são espaços de *primeira ordem*, isto é, espaços cujo elemento gerador é definido pelas coordenadas dum ponto e pelas suas primeiras derivadas em relação aos parâmetros. Por outro lado, nos domínios das geometrias holónomas de Klein, é bem sabido, desde os princípios da teoria dos grupos de Lie, que o invariante integral de ordem *mínima* (que é, na geometria euclideana, o comprimento de arco) pode conter, para outros grupos de transformações, além das coordenadas, as suas derivadas até uma ordem superior à primeira. Será, então, possível fundar a geometria sôbre um princípio de transporte, dependendo a métrica dum elemento de superfície a k dimensões e de ordem M? Ou, duma maneira ainda mais geral, poderá construir-se uma teoria do espaço, tendo êsse elemento como gerador? Isto é, sendo

$$s = \int f\,(t, x^i, dx^i, d^2x^i \ldots d^M x^i) \quad (i = 1,2 \ldots n)$$

e $k < n$ o número de parâmetros de que dependem as coordenadas x^i?

Os primórdios duma resposta afirmativa devem-se a Kawaguchi e têm apenas dez anos. Nas suas primeiras Notas sôbre o que êle chamava então *espaços generalizados de Finsler*, conseguiu Kawaguchi definir os possíveis critérios de transporte paralelo, os tensores de curvatura, etc., relativos a um grupo de transformações pontuais num espaço com um elemento linear de ordem M, ou seja um espaço definido por $(x^i, dx^i, d^2 x^i \ldots d^M x^i)$.

Pouco tempo depois, em 1935, Craig e Synge propunham, para estes espaços generalizados, o nome de Kawaguchi e abordavam o problema da métrica, definindo, a partir da função f, os chamados vectores de Synge, à custa dos quais se efectua a derivação covariante. Simplesmente, a teoria de Craig e Synge não é *intrínseca*, quere dizer, não é invariante qualquer que seja a escolha da variável independente t; o que, desde logo, simplifica o problema para os *espaços de Kawaguchi especiais*, que são aquêles em que a variável t não figura em f. Dêles se ocupou, em primeiro lugar, Cartan, no caso *bidimensional* e para a ordem *dois*. Mas o seu método, utilizando um grupo de transformações de contacto, e, pouco depois, generalizado, por Hombu, para uma ordem qualquer, não é aplicável aos espaços especiais de Kawaguchi, a mais de duas dimensões. Para estes, conseguiu o próprio Kawaguchi, por um método diferente, e utilizando um grupo de transformações pontuais, definir um esquema de transporte, cujos parâmetros dependem dum elemento de curva de ordem $2M-1$, se o espaço é de ordem M; e ùltimamente, à custa dum processo projectivo, criado por Hombu, foi-lhe possível estabelecer uma lei de transporte, cujos parâmetros dependem dum elemento de curva de ordem M; isto é, de ordem igual à do espaço considerado.

Nesta construção de Kawaguchi, há um caso excepcional notável, em que a teoria não pode ser aplicada: é aquêle em que a função f é *linear* em relação à derivada de ordem mais elevada, que nela figura.

Para êste caso, há que modificar o método, ou que adoptar outro; e o problema está ainda, julgo eu, sem solução.

Chamei *notável* a esta singularidade, porque ela corresponde precisamente ao tipo chamado *normal*, na teoria das equações diferenciais: o que lá é comodidade de análise, é aqui invencível obstáculo.

A estes *espaços de ordem superior*, gerados por um elemento de superfície a k dimensões e de ordem M, é natural chamar *espaços métricos*, se a sua geometria é determinada por um integral multiplo de ordem k.

Nestas geometrias de ordem superior, têm uma importante função algorítmica os *sistemas absolutos* de Vitali e a *geometria riemanniana de espécie superior de Bompiani.*

Além das *geometrias métricas,* a que, há pouco, aludi, pertencem ao seu domínio *as geometrias dos sistemas de equações diferenciais;* e não tem pequena intervenção na sua estrutura a teoria projectiva de Hombu, a que já fiz referência.

Desde que o elemento linear é de ordem superior, uma transformação do sistema de referência não se reportará apenas às coordenadas, mas também às suas derivadas em relação ao parâmetro. Pois bem: aos tensores relativos a uma tal transformação chamou Craig *extensores,* que podem ser, como os do cálculo absoluto ordinário, *excontravariantes e excovariantes.* Com êles e com certos operadores, um dos quais fornece imediatamente os vectores de Synge, se constrói tôda esta geometria diferencial de ordem superior, tão auspiciosamente elaborada nos últimos anos. Aqui e além, há ainda uma ou outra incerteza a esclarecer. Por exemplo, conhecem-se espaços especiais de Kawaguchi para os quais o tensor métrico de segunda ordem (g_{ik}), por cujo intermédio se faz o transporte, tem matriz *singular;* e êste caso, no qual os métodos do Autor da teoria são inaplicáveis, ainda se não sabe se poderá sempre ser abordado por uma generalização do conceito de transporte, ou se deverá ser tratado por outros métodos. Por outro lado, a linguagem habitual tem de ser modificada, para que se evitem perigosas confusões. Assim, um *elemento de linha* não é o mesmo que um *elemento de curva.* O elemento de curva é o conjunto de todos os elementos de linha, num ponto da variedade, que entre si se permutam quando se faz uma mudança de parâmetro; e assim, o elemento de curva é independente da parametrização. Acresce a circunstância (e essa inevitável) de ser a análise extensorial bem mais complexa que o cálculo absoluto, mesma na forma generalizada de Vitali.

Para tanto, basta que os extensores, tendo, como os tensores ordinários uma certa *ordem,* tenham, além disso, um certo *grau:* o da mais alta derivada que nêles figura.

Consegui, há pouco, averiguar que as derivadas parciais das componentes dum extensor, em ordem às componentes doutro extensor, são ainda componentes dum extensor. E esta propriedade simplificadora, que eu tinha estabelecido para os tensores ordinários e me permitiu reduzir a *três* os postulados da geometria de Finsler, é natural que tenha, na análise extensorial de Craig e Synge, apreciável rendimento.

Com todos êstes acrescentamentos e deformações das teorias clássicas, a construção pode considerar-se perfeita: nem sequer falta uma determinação sistemática das grandezas e expressões pfaffianas que são invariantes por uma transformação paramétrica; e êsse objectivo não se consegue sem freqüente e proveitoso recurso à teoria dos grupos, principalmente à sua representação linear e, por conseqüência, à teoria algébrica de Hermann Weyl.

Continúa o entendimento, cada vez mais íntimo, entre a geometria e os grupos; agora mais sòlidamente apoiado nos métodos variacionais que, por sua vez, são o indispensável intermediário para a geometrização dos sistemas de equações diferenciais.

A análise topológica global e os métodos algébricos substituem ou sobrepõem-se aos métodos infinitesimais, preenchendo insuficiências, que se afiguravam insupríveis, ou esclarecendo mistérios, que pareciam impenetráveis; em ambos os casos, retribuindo generosamente benefícios para os quais, até ha pouco tempo, se não vislumbrava remuneração. Benefícios que, de resto, dia a dia se ampliam e engrandecem: *verbi gratia,* os que a análise extensorial de Craig e Kawaguchi tem prestado, na elaboração das geometrias de ordem superior; ou os que a estrutura infinitesimal dos grupos contínuos trouxe à axiomática das álgebras de Lie.

Olhando para o passado, como se nos afigura longínquo o abrolhar hesitante dos primitivos enlaces e remoto o alvor incerto da primeira jornada!

Que fecundo evoluir nos distancia do programa de Erlangen, da obra de Frobenius, do conceito riemanniano de espaço, dos pródromos da Análise Funcional! Pela abundância e pela qualidade dos resultados, pela fertilidade dos

métodos, pelo êxito dos vaticínios e, talvez, sobretudo, pela feliz e, por vezes, inesperada convergência das ilações, a colaboração dêstes três domínios do pensamento matemático, o *algébrico,* o *variacional* e o *geométrico,* que tão sumàriamente acabo de assinalar, é uma das mais ricas e atraentes perspectivas da ciência moderna.

E já que o intuito desta minha palestra, não sei por que simpatia, foi dar fóros de protagonista ao domínio geométrico e de acólito aos outros dois, eu quero afirmar, sem pruridos de arrependimento, embora com propósitos de justiça, que o encómio desta admirável competição de esforços consente, sem profanações de hierarquia, nem tibiezas de argumento, que a qualquer dos três domínios se confira a condução do enrêdo. São frondes da mesma árvore, caudais da mesma fonte, gigantes da mesma estirpe!

Credo equidem, nec vana fides, genus esse deorum.

O PROBLEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DE AVEIRO

PELO ENG. CIVIL (I. S. T.) RICARDO ESQUÍVEL TEIXEIRA DUARTE

Primeiros elementos de estudo

Quando fui encarregado de elaborar o projecto de abastecimento de água de Aveiro procurava-se encontrar uma solução simples e económica, por falta de recursos para mais. O distinto Professor Sr. Ernesto Fleury, a quem presto aqui as minhas homenagens, tinha sido antes convidado a dar o seu parecer sôbre as condições hidrogeológicas da região e sôbre a orientação geral a seguir, segundo o ponto de vista restrito de melhoramento das captagens da Fôrca e S. Bernardo e possibilidade de obtenção de novos recursos sem grandes encargos.

As conclusões do seu relatório datado de 15 de Julho de 1933, são as seguintes em resumo:

.....

1.ª — O melhoramento das captagens da Fôrca e de S. Bernardo pode ser aconselhado, mas sòmente para aproveitar as instalações actuais e só permitirá difìcilmente triplicar o caudal de estiagem.

2.ª — O aproveitamento das águas sub-fluviais, ou das aluviões dos rios dos arredores da cidade, seria provàvelmente interessante nas zonas mais afastadas, no fundo dos vales não influenciados pelas marés, deixando de lado o Vouga que atravessa terrenos cupríferos.

3.ª — O aproveitamento das águas das Dunas da Gafanha (na sua base) exigiria captagens provàvelmente muito desenvolvidas.

4.ª — As águas profundas seriam pouco frescas e bastante mineralizadas, calcáreas e talvez ferruginosas. Contudo uma sondagem devia ser prevista para atingir os 180 metros.

5.ª — As águas da zona da Estação das Quintãs e da Quinta do Picado são as mais fàcilmente aproveitáveis e são abundantes, sobretudo nos dois vales da Quinta do Picado (Fonte do Carocho e Vale dos Marinheiros). Exigirão captagens desenvolvidas e zonas de protecção, ou um tratamento conveniente.

O presente projecto, como se verá, vem confirmar aquelas conclusões, depois de estudos pormenorizados sôbre cada um dos aspectos focados por aquêle ilustre Professor.

Os meus primeiros passos foram dados antes de Sua Excelência o Ministro das Obras Públicas, Sr. Eng. Duarte Pacheco, ter traçado as novas directrizes da resolução perfeita e completa do problema, tornando isso possível pelo plano de auxílio do Estado para obras de saneamento das cidades do País, entre as quais Aveiro lhe merecia especial atenção.

Entretanto tinham-se encetado levantamentos topográficos e reconhecimentos hidrogeológicos nas zonas da Estação das Quintãs e da Quinta do Picado (Fonte do Carocho), mas os resultados eram desanimadores, não só quanto aos aspectos económico e social, mas também quanto à quantidade de água e dificuldade da sua eficaz protecção.

Orientação definitiva

A solução que parecia simples como remédio imediato, — pela pequena distância e pela cota das nascentes, — revelou-se inconveniente e cara relativamente à modéstia do objectivo.

Expostas à Câmara Municipal essas primeiras conclusões, surgiu num jornal de Aveiro a lição do Sr. Dr. Alberto Souto, que, com a sua grande competência sôbre o assunto e o seu poder de exposição clara e atraente, — a-pesar-do grande desenvolvimento científico, dado ao assunto — expôs em cinco artigos sucessivos, todos os aspectos do problema das águas potáveis de Aveiro.

As conclusões do Sr. Dr. Alberto Souto podem resumir-se da seguinte forma:

1.º — O estudo metódico e completo do plano de abastecimento de água impõe-se. Não se podem gastar quatro ou cinco mil contos ao acaso, em obras de palpite ou de resultados duvidosos.

2.º — A mesopotâmia compreendida entre os dois sistemas fluviais do Cértima, seguido do Vouga, e do rio Boco seguido da ria de Vagos, na parte que fica a norte da linha Vagos–Fermentelos, é o único campo de captagem de águas potáveis para abastecimento da cidade, mas forma uma bacia geológica totalmente separada da meseta.

3.º — Quanto à possibilidade de encontrar água por meio de poços artezianos, é de recear que a possança das camadas cretáceas seja muito grande, só se encontrando a sua base a grande profundidade. Só um grande acaso nos poderia fornecer águas nesta zona geológica. As sondagens deviam, no entanto, fazer-se por descargo de consciência e porque a geologia é mais uma ciência de constatações do que de teorias.

4.º — As águas do Vouga oferecem o inconveniente de trazerem escorrências venenosas das minas e descargas de ácidos de fábricas marginais. Quem viu, desde pequeno, muitas vezes o peixe morto flutuando nesses rios, tem sérias apreensões sôbre o perigo do aproveitamento das águas do Vouga.

5.º — A Gafanha forma uma península interior entre a ria da Costa Nova e o Rio de Mira, e a Ria de Aveiro e de Ílhavo, com perto de 20 quilómetros de extensão e 7 de largo.

De Aveiro à margem oriental da península arenosa da Gafanha distam, em linha recta 3 quilómetros. Se as análises declararem potável esta água, e vencidas as dificuldades de captação, protecção e trajecto até à cidade, Aveiro terá resolvido um dos seus mais graves, mais instantes, mais urgentes problemas».

O Sr. Presidente da Câmara fortalecido por esta divulgação do delicado problema e pelo apoio de Sua Excelência o Sr. Ministro das Obras Públicas, deu então ordem para eu estudar cuidadosamente tôdas as soluções possíveis, a-fim-de se optar pela que fôsse inteiramente satisfatória para as exigências higiénicas da cidade e oferecesse garantias de poder acompanhar, sem deficiências, o ambicionado progresso de Aveiro.

Deve ser dito nesta altura que o trabalho do Sr. Dr. Alberto Souto foi o guia seguro dos meus estudos. E não pareça que há contradição entre as conclusões a que cheguei depois e as intenções que me atribuiu no seu segundo artigo, quanto às águas das levadas.

Lê-se neste artigo: — «devemos pôr de parte as levadas, como o Sr. Eng.º Teixeira Duarte fêz, porque essas levadas quási têm secado no verão e porque seria impraticável expropriar ou inutilizar as azenhas e propriedades que as utilizam».

Referia-se o Sr. Dr. Alberto Souto às levadas que partem da estação das Quintãs e da Quinta do Picado, sôbre cujo aproveitamento eu tinha exposto as minhas dúvidas entre outras razões, pela perturbação que isso causaria na economia das povoações próximas.

Adiante se verá que não houve remédio senão fazer face ao inconveniente de captação de águas já utilizadas em grande parte como aquelas, mas isso num vale distante e abundantíssimo de água, onde a falta de alguma não se fará sentir, e ainda, subsidiàriamente, noutro vale menos desviado, mas onde os mesmos inconvenientes estão igualmente ate-

nuados pelas circunstâncias. Não se diz que êles sejam para desprezar nestes locais, mas sim que é de fôrça maior a necessidade de vencê-los aqui, onde o seu aspecto é menos grave.

Difícil era fugir a tal contrariedade numa região populosa como a de Aveiro, a não ser que fôsse viável o recurso a águas profundas ou às águas de um rio.

O próprio Sr. Dr. Alberto Souto examinou depois a meu pedido as condições favoráveis das águas que me parecem indicadas para abastecer Aveiro, concordando com as razões da minha escolha, porque há possibilidade de indemnizar os proprietários prejudicados e é pequena a perturbação causada naqueles sítios pela falta da água que terá de ser derivada para a sede do distrito.

Também convém dizer desde já que era naquela altura minha convicção que seria possível encontar água boa e abundante nas Dunas da Gafanha, em sítio não afastado da ponte, e que essa seria a solução mais económica.

Adiante se explicará porque houve que responder negativamente (contra o que eu esperava), às preguntas que fazia o Sr. Dr. Alberto Souto ao formular as hipóteses que poderiam condenar aquela solução desejável.

Primeiras conclusões

Seria longo descrever pormenorizadamente todos os estudos realizados: as observações de terrenos e as sondagens geológicas, exames do regime de águas subterrâneas, observação das condições do trabalho agrícola e da vida social dos aglomerados rurais, trabalhos topográficos, colheita de dados hidrogeológicos, análises de água, consultas a pessoas entendidas sôbre determinados problemas, etc., etc.

Êsses estudos tiveram por base os trabalhos atrás citados, aos quais se juntou o do Sr. Eng.º Luiz Saldanha de Oliveira e Sousa, que teve a amabilidade de atender o meu pedido para auxiliar os estudos geológicos para os quais me falhava a competência.

O Sr. Eng.º Saldanha considerou as mesmas três hipóteses que o Sr. Professor Fleury e o Sr. Dr. Alberto Souto, pronunciando-se da seguinte forma:

«— Em resumo podemos dizer que a hidrologia da região de Aveiro é caracterizada pela existência de dois níveis aqüíferos bem distintos (não damos a nível o significado que se admite quando se fala da permeabilidade em grande, porque aqui apenas temos rochas que apresentam permeabilidade em pequeno, ou por porosidade). Temos as águas contidas nas areias quaternárias suportadas pelas argilas senonianas, e que em geral constituem as emergências que aparecem nos vales, alimentando os ribeiros que nêles circulam, e as águas profundas contidas nos grês belasianos e que se podem captar por meio de furos... Além destas ainda há as águas das dunas, cuja enorme extensão permite certamente a acumulação de reservas muito abundantes. —»

Êste meu distinto colaborador inclina-se, porém, para a solução da abertura de um poço arteziano cuja profundidade êle calcula que não precisaria atingir 250 metros para obter êxito.

Assim, há três hipóteses que foram especialmente focadas pelas pessoas competentes que analisaram o problema da escolha do manancial de água potável que poderá abastecer Aveiro, as quais passo a enumerar pela ordem porque são estudadas adiante:

1.ª — A captação de águas profundas por poço arteziano, para onde se inclina o Sr. Eng.º Saldanha de Oliveira e Sousa.
2.ª — A captação da água das dunas da Gafanha, pela qual mostra preferência o Sr. Dr. Alberto Souto em face das dificuldades e dúvidas que apresentam as outras duas hipóteses.
3.ª — A captação de águas do flanco ocidental do planalto das Quintãs por que se pronuncia o Sr. Professor Ernesto Fleury, mas em vales mais longínquos e abundantes, que aquêle Professor não considerou por uma razão económica que então prevalecia.

A primeira conclusão a que cheguei nos meus estudos foi a de que só eram realmente para considerar as três hipóteses acima citadas

e que o meu trabalho se reduzia à comparação dos prós e dos contras de cada uma delas em face do resultado das investigações pormenorizadas a que se procedeu.

As razões porque abandonei, a partir de certo momento, tôdas as outras hipóteses, são as seguintes:

Pondo de parte tudo o que representaria pura fantasia irrealizável econòmicamente, como a água de serras distantes ou a água de albufeira, — a que só haveria que lançar mão em casos extremos de que felizmente estamos muito afastados, — há que falar de três hipóteses que poderiam ser ainda encaradas:

a) As águas do Vouga, — certamente as sub-fluviais dêste rio, existentes nas areias próximas de Angeja.
b) As águas sub-aluvionárias do vale da Esgueira que por alguns indícios poderiam dar-se como existentes e cuja abundância alguns supunham adivinhar.
c) As águas sub-aluvionárias da zona lagunar da Ria que nalguns pontos se têm revelado por «olhos» de água doce.

Vejamos:

— Quanto ao aproveitamento da água do Vouga, como se não bastassem os receios, por assim dizer confirmados, da sua má qualidade, êle implicaria um grande comprimento de canalizações, tanto como o necessário para trazer a Aveiro a água do Vale de Ílhavo, e a máxima elevação, como sucederia às águas da Gafanha. Não há, pois, razões para estudar esta solução, em pormenor, antes de serem postas de parte aquelas hipóteses que representam soluções indiscutìvelmente mais vantajosas.

— No vale da Esgueira foi feita uma sondagem no ponto designado por um vedor, onde as aluviões teriam, presumìvelmente, maior espessura e onde provàvelmente se poderia dar a concentração das águas subterrâneas do Vale. Salvo as formações superficiais com águas impuras e cloretadas, concentram-se só formações lodosas até perto dos 20 metros de profundidade passando imediatamente para as formações argilosas impermeáveis do Senoniano.

Portanto, as águas subterrâneas estão ali completamente espalhadas e só poderão ser captadas para regas de hortas ou tanques de lavadeiras, — em quantidades exíguas.

— Quanto às águas lagunares da Ria foi a hipótese estudada com tôda a meticulosidade, quer teòricamente, quer por observações directas, fazendo-se depois três sondagens: uma junto do tanque das lavadeiras à beira da cidade, outra em frente do Vale de Santiago e uma terceira a meio caminho entre Aveiro e a ponte da Gafanha.

A sondagem do Vale de Santiago mostrou terrenos de aspecto semelhante aos colhidos na sondagem da Esgueira, — mas com aluviões mais argilosos, — repousando directamente nas argilas senonianas. A sondagem feita a meio caminho da Gafanha revela lodos e areias muito argilosas impregnadas de água salgada que repousam também na base senoniana (pelos 20 metros de profundidade).

Só a sondagem do tanque das lavadeiras encontrou formações arenosas com água até aos 10 metros. Mas estas são águas derivadas do planalto, como as da Fôrca, que neste ponto se vão já escondendo sob os lodos da Ria, misturando-se com águas salgadas.

— Haverá algum rio subterrâneo de água doce correndo nas ravinas ocultas das argilas ou dos calcáreos cretássicos? — É possível.

Confesso que me sentia inclinado no início dos meus estudos para essa hipótese, na esperança de que êsse rio subterrâneo existiria e viria a passar não longe de Aveiro, na Pumaceira, ou ainda mais à beira da cidade. As suas águas resultariam da reünião das diferentes derivações sub-aluvionárias das águas do Planalto das Quintãs.

Na realidade, uma sondagem que eu fizera em tempos na ponte da Gafanha encontrara água doce na base das formações lodosas, e, notam-se olhos de água doce em certos pontos da Ria.

Porém, as sondagens feitas em Santiago e a meio caminho da Gafanha (na Pumaceira), confirmando as notícias que nos chegam duma sondagem que o Caminho de Ferro fêz em frente da cidade, tal como a sondagem feita na Esgueira, não encontraram formações arenosas e cascalhentas que fôssem indício da verdade de tal hipótese.

As formações da Ria em frente da cidade, serão apenas argilosas como previa o Sr. Professor Fleury. As águas do Planalto não se insinuam, portanto no subsolo, tal como podia deduzir-se do grande caudal das valas que chegam a Santiago, a Verdemilho, a Ílhavo e a Vista Alegre.

O rio subterrâneo existirá, mas para os lados da Ilha do Poço, ou da Galinheira, a noroeste da Esgueira. Para êsse lado, as águas do Planalto não correm à superfície, talvez porque as grandes massas das aluviões do Vouga são principalmente arenosas.

Mas ali já não vale a pena procurá-lo. Caíriamos na hipótese da captação das águas do Vouga (indirectamente).

Assim as águas das aluviões do Vouga seriam o único recurso a considerar, se não fôsse viável qualquer das três hipóteses preferíveis de que passamos a ocupar-nos.

Hipótese do poço arteziano

O Sr. Professor Fleury diz no seu parecer que há possibilidade de encontrar — «águas mais ou menos artezianas nas zonas profundas de Aveiro, mas com fôrça repuxante variável e fraca por causa das irregularidades conhecidas ou desconhecidas do Cretássico médio (Belasiano — Turoniano) e do Jurássico» e mais adiante explica que « — há um encaixamento das séries do Triássico, do Jurássico e do Cretássico, por baixo das formações mais recentes, na bacia geológica-geográfica do Vouga inferior. Esta mesma estrutura existe, naturalmente, também na bacia mais pequena de Aveiro». — «Todavia os afloramentos das séries profundas são geralmente muito irregulares e parecem indicar acidentes tectónicos que podem reduzir ou dividir a bacia».

Põe depois as suas reservas quanto à temperatura dessa água que poderá ter mais de 20° e cêrca de 150 metros, acrescentando:

«O Cretássico médio com o Belasiano e o Turoniano que existe por baixo do Senoniano têm diversas séries impermeáveis, é certo, mas também outras calcáreas ou gresosas mais permeáveis».

«Uma sondagem prevista para atingir a profundidade máxima de 180 metros, pode ser contudo aconselhada». — «As águas seriam pouco frescas e provàvelmente bastantes calcáreas ou mesmo ferruginosas».

Pela forma como o Sr. Professor Fleury se exprime notam-se as suas fortes dúvidas sôbre o êxito da tentativa, não tanto pelas condições geológicas pròpriamente ditas mas pela má qualidade da água que delas pode resultar.

A questão é posta por êle tècnicamente no campo das hipóteses, apontando simplesmente um recurso possível.

Sôbre êste assunto o Sr. Dr. Alberto Souto é pessimista e receia que a possança das camadas impermeáveis se aproxime de 1.000 metros, depois das seguintes considerações sôbre a geologia local de que me permito respigar alguns trechos que convém acompanhar na carta geológica da região, que se junta (Fig. 1).

« — O subsolo da mesopotâmia de Entre-o-Vouga e o rio de Vagos resistiu a tôdas as acções, reacções e compressões e manteve-se horizontal através de todo o terciário e quartenário». — «Claro que a horizontalidade das camadas cretássicas de Aveiro não é absoluta. Nota-se uma inclinação geral para oeste-noroeste e essa inclinação é concordante com a do triássico de Eirol e margem do Vouga e do Águeda...»

« — O Senoniano constitue o subsolo da mesopotâmia aveirense que, no entanto, tem a leste um largo trato de Belasiano, entre Eixo, Requeixo e Mamodeiro, com um pequeno afloramento de Turoniano no Carrejão e Triássico no Eirol. A parte mais elevada, Aradas e Quintãs, para o Sul, está recoberta por Pliocénico que se apresenta cascalhento e arenoso».

«Os poços artezianos, salvo o devido respeito pela opinião do ilustre geólogo, não seriam susceptíveis de repuxar e talvez não encontrassem água porque, não podem profundar-se a 1.000 ou a 1.500 metros onde provàvelmente se acharia a base das camadas cretássicas que devem repousar sôbre solo precâmbrico ou arcaico».

Termina contudo por dizer, como atrás foi reproduzido, que «as sondagens deviam fazer-se por descargo de consciência».

Eu julgo que uma grande parte da discordância entre o Sr. Professor Fleury e o Sr. Dr. Alberto Souto, provém de que êste Sr. parte do princípio que só na base das cama-

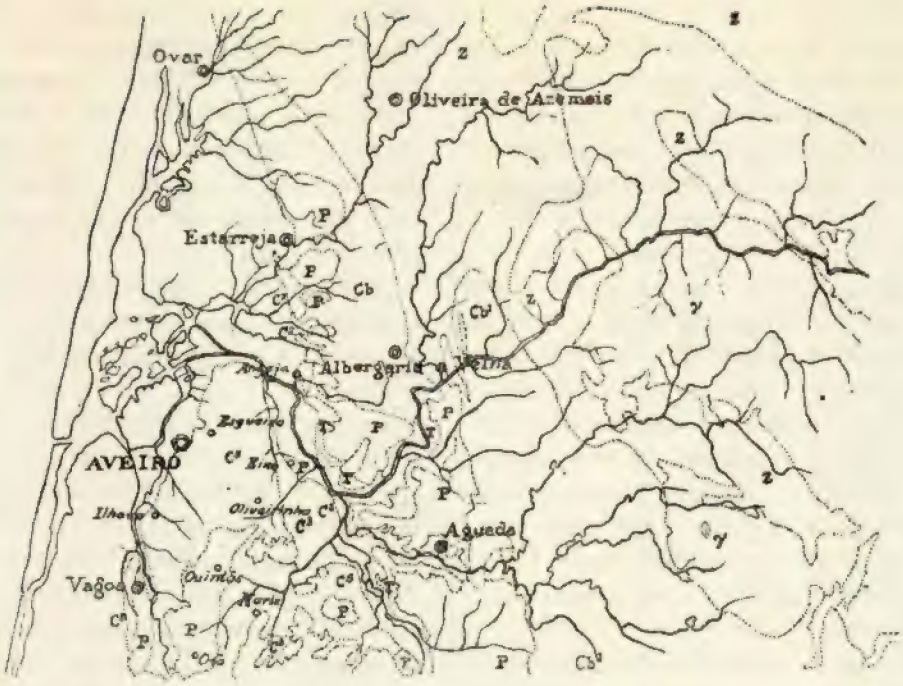


Fig. 1
Extracto da carta geológica
1 : 500.000

das cretássicas poderá haver água arteziana, enquanto que o Sr. Prof. Fleury põe a hipótese de a haver na base do Senoniano, ao atingir-se o Turoniano, ou então nas primeiras camadas do Belasiano. Foi êste um dos pontos que eu pedi ao Sr. Engenheiro Luiz Saldanha para procurar esclarecer.

Vejamos o que diz êste Engenheiro no seu relatório:

« — Segundo Choffat, podem-se estabelecer vários níveis distintos, nas camadas senonianas que formam grande parte da região estudada.

Não seguimos porém êsse critério, porque, para isso, seria necessário muito mais tempo do que aquêle de que dispunhamos, e também porque neste estudo hidro-geológico interessa muito mais a composição litológica do que pròpriamente os detalhes estratigráficos.

Contudo, a estratigrafia foi estudada com o detalhe suficiente de modo a permitir formar uma opinião segura sôbre a sobreposição das camadas, sua direcção, inclinação e regularidade.

Como nível de referência utilizamos as camadas argilosas que Choffat denomina: Assises flúvio-saumatres. São estas que constituem as camadas exploradas para o fabrico de telha, e outros produtos cerâmicos em tôda a região vizinha da cidade.

Num corte, numa barreira duma fábrica da cidade, podia-se determinar com tôda a precisão a direcção e inclinação destas camadas, que eram as seguintes: Direcção N-57-W e inclinação 4 graus para Oeste.

Esta direcção mantém-se mais ou menos constante, e a inclinação também pouco varia, apresentando no contacto com a Meseta o valor de 6 graus, e parecendo ser êste o valor máximo.

Uma conclusão que se pode tirar seguindo os afloramentos desta camada que utilizamos como referência, é a da sua extrema regularidade. Aparece sempre mantendo a sua direcção e inclinação e aproximadamente à mesma cota. Não há o mais pequeno indício de que qualquer acidente tectónico viesse perturbar esta região. Apenas muito mais para leste, na Povoação de S. João de Loure se observa uma dobra anticlinal, acompanhada de uma pequena falha, nos grês vermelhos do Triássico.

Estas camadas argilosas são cobertas segundo Choffat pelos grês da Esgueira. Conforme o mesmo autor, estas formações apre-

sentam na base os caracteres dos grês pliocénicos e na parte superior caracteres que os levaram a considerar como cretássicos.

Como não encontrei fósseis, e me pareceram exactamente análogos ao Pliocénico, ou mesmo ao Quaternário, admiti que, directamente sôbre as formações argilosas do Senoniano se encontrava o Quaternário.

Percorrendo as formações que se estendem de Aveiro até ao contacto com a Meseta, nota-se (seguindo a estrada que de Aveiro vai a Eixo), que, 200 ou 300 metros antes de se chegar a Azurva termina a mancha de areias Quaternárias que ocultava as outras formações, e aparecem uns grês, brancos, um pouco calcáreos e embebidos de água. Estes grês estendem-se até perto de S. João de Loure, e aqui assentam directamente sôbre os grês vermelhos do Triássico.

Como estes grês brancos não têm fósseis, e não há outros níveis de referência, tomamos estas camadas como pertencendo ao C_2, e de facto, são análogas às que se encontram perto de Lisboa, e que designaram na carta geológica com o nome de Belasiano.

Choffat admite que por baixo das Assises fluvio-marines, se encontram os grês do Ceadouro, mas êle pode determinar o contacto dessas camadas com o Turoniano subjacente, que aqui não se encontra, ou pelo menos, não é visível no corte que estudamos.

Êste facto não traz inconveniente algum, porque petrogràficamente os grês dêstes dois níveis são análogos. E no caso particular no nosso corte era evidente que os grês eram muito permeáveis.

Portanto o corte que estabelecemos de Aveiro a S. João de Loure é de leste para oeste o seguinte: grês vermelhos do Triássico, grês brancos de cimento calcáreo Belasiano, argilas de côres variáveis do Senoniano e finalmente areias mais ou menos gresosas do Quaternário.

Êsse corte mostra bem a sucessão das camadas e espessura das argilas senonianas que devem orçar por 250 metros. Perfurada esta encontrar-se-á a camada dos grês belasianos aqüíferos».

Portanto, o Sr. Engenheiro Saldanha, partindo do princípio que faltará o Turoniano no sub-solo de Aveiro, admite que o Senoniano impermeável repousará sôbre os grês aqüíferos do Belasiano. Sendo assim, poderá ser atingido o Belasiano depois de atravessados cêrca de 250 metros de Senoniano. É claro que haveria que contar com algumas dezenas ou uma centena de metros mais, para penetração no Belasiano.

Procurando dar o meu contributo de simples sondador para esclarecimento dêste problema, apresento algumas observações pessoais sôbre o assunto:

Uma sondagem feita sob a minha direcção, perto da Estação do Caminho de Ferro, penetrou até 80 metros de profundidade em argilas compactas e grês muito argilosos que julgo pertencerem à parte média do Senoniano de Aveiro. Sôbre estas camadas argilosas em que também penetrou a sondagem executada em S. Tiago, há os calcáreos gresosos ou grês calcáreos assinalados pelo Sr. Dr. Alberto Souto, junto do Canal de S. Roque, Parque Municipal e em Verdemilho.

Por outro lado nas sondagens que executei em tempos no Canal de Ílhavo, junto da ponte da Gafanha, para estudo das suas fundações, encontrei margas com camadas delgadas de calcáreos gresosos a 20 metros de profundidade, sob os lodos. E foi possível com as quatro sondagens feitas traçar um perfil geológico que, segundo o alinhamento dessas sondagens (E–O), acusava uma inclinação de 2°.

Êste resultado corresponde à minha convicção de que há diminuïção na inclinação dos estratos por baixo da Ria.

De facto, em Aveiro, numa das barreiras, encontrava-se uma inclinação de 4° para oeste, mas perto da Ria há já indícios de menor inclinação.

Suponho também que uma tal mudança de inclinação é o resultado de uma inflexão a distância, isto é, os estratos devem estar dispostos em anfiteatro em volta de uma zona situada ao sul de Aveiro, talvez entre S. Tiago e Ílhavo. Provam-no as seguintes verificações da direcção e inclinação.

Em S. João de Loure registam-se inclinações de cêrca de 6° para sudoeste, e em Borba (entre Salgueiro e Nariz) está a inclinação reduzida a 3°, mas para noroeste.

Sendo assim, como tudo leva a crer, a região próxima de Aveiro do lado sul é favorável pela disposição geológica em concha, à concentração de águas profundas, embora com descarga no Oceano, portanto, condicionadas pelo seu nível.

Tomando o perfil obtido nas sondagens da ponte da Gafanha (inclinação 2° para oeste) e relacionando-o com um perfil traçado na cidade com a mesma direcção, conclue-se que as camadas de calcáreos gresosos e margas encontradas na ponte são geològicamente superiores às que formam o solo de Aveiro.

Fazendo o prolongamento dêste perfil com a inclinação média de 2,5 graus, conclue-se que aquelas camadas da Gafanha atingiriam em Aveiro cêrca de 100 metros de altura acima das existentes. E, como a espessura calculada pelo Sr. Engenheiro Saldanha para essas camadas argilosas é no total de 250 metros, teríamos necessidade de perfurar 150 metros para as atravessar.

Tomando agora um perfil entre Nariz e Salgueiro, cuja inclinação para noroeste é de 3°, admitindo a hipótese de um centro de muito fraca inclinação entre Ílhavo e S. Tiago (o que colocaria a média da inclinação em 2°), encontramos 200 metros para espessura das camadas argilosas neste ponto (Assise fluvio-saumatre de Choffat).

Chegamos assim a números pouco superiores aos apontados pelo Sr. Professor Fleury para atingir a base do Senoniano. Há porém que contar com a possível necessidade de grande penetração no Turoniano ou Belasiano e isso poderá levar-nos para os 200 metros ou mesmo para os 250 metros de profundidade.

As camadas aqüíferas serão as da base do Senoniano (grês do Ceadouro) que tem calhaus rolados e areias micáceas, como o Sr. Professor Fleury parece admitir, as do Belasiano como julga o Sr. Engenheiro Saldanha, ou ainda as do Turoniano cuja existência é provável e que na região é gresoso.

Alguns afloramentos daquelas camadas, possìvelmente aquíferas, têm posições muito favoráveis a infiltrações de água, nomeadamente os da Ribeira de Cértima até Eirol, bem como os encobertos pelas areias pliocénicas que podem ser origem de alimentação ainda mais importante.

A regularidade notada, tanto pelo Sr. Dr. Alberto Souto como pelo Sr. Engenheiro Saldanha, a qual o Sr. Professor Fleury confirma, embora com receio de alguns acidentes ocultos, são condições favoráveis também à idéia de viabilidade de um poço arteziano.

O maior risco é o que diz respeito à qualidade da água, pois se ela vier de profundidade superior aos 200 metros e de terrenos calcáreos, será fortemente mineralizada e com uma temperatura excessiva.

O problema é complexo e delicado e não posso, por agora dar-lhe mais desenvolvimento.

Numa coisa estão de acôrdo tôdas as pessoas competentes que se pronunciaram: A contingência da tentativa.

Nunca poderia êste projecto basear-se numa tão precária hipótese. Antes pelo contrário, só depois de conhecido por êste projecto qual o custo de uma *solução inteiramente satisfatória e segura,* é que podemos pôr em equação o problema.

— O bom resultado da abertura de um poço arteziano poderá representar uma economia apreciável?

— Será necessário ou não o tratamento da água arteziana? Será profunda a cota de bombagem da água? Serão precisos dois poços?

Tôdas estas interrogações correspondem a incógnitas que não deixam prever a economia que se conseguiria com tal recurso.

Contudo, como essa economia pode oscilar em volta dos 1.000 contos, arriscando-se para isso cêrca de 200 contos, talvez seja para tentar a experiência, com a ajuda do Estado, que certamente se não negará a isso.

Por mim penso que o poço arteziano, pela qualidade da água que se obteria e pela necessidade da sua elevação, não permitirá dispensar a água dos Marinheiros de óptima qualidade e que vem pelo seu pé até à maior parte da cidade. Admito a hipótese do poço arteziano apenas como variante, para se dispensar o aproveitamento da água do Vale das Maias que está mais longe e a mais baixa cota do que aquela.

Será uma tentativa a fazer, porque se a água fôr de má qualidade para a população, poderá ser aproveitada em usos industriais e agrícolas.

Hipótese das águas da Gafanha

Quem de Aveiro se dirige para a Costa Nova, atravessa, até à ponte sôbre o Canal de Ílhavo, zonas lodosas da Ria. Para lá da ponte, chamada ponte da Gafanha, encontra-se à esquerda um areal enorme mais ou menos coberto de pinhal, tendo ao fundo paralelamente ao mar uma linha de dunas mais elevada. A superfície dêste areal que é cortado a Poente pelo Canal de Mira é quási horizontal e tem a cota (−5,00) aproximadamente.

Só entre Aveiro e Vagos, na parte norte da Gafanha que nos interessa, há 40 quilómetros quadrados de planície arenosa.

São areias modernas de origem marítima e eólica, de grão rolado e quási uniforme. A sua superfície lavada e árida tem sido transformada pela acção do homem, num esfôrço admirável, mediante o adicionamento de moliço e lamas. Mais para além, a obra dos Serviços das Matas Nacionais vai povoando de pinhal a superfície movediça.

A água das chuvas infiltra-se na sua maior parte nesta areia extremamente permeável, embora alguma volte a ser evaporada pela acção do Sol combinada com o fenómeno da capilaridade. As águas infiltradas definitivamente descem até encontrarem a camada argilosa da base das areias onde seguem as direcções privilegiadas que são função da forma desta camada.

Tôda a massa de areia fica impregnada de água até certa cota abaixo do nível do solo, formando uma superfície aqüífera que desenha, — mais adoçada — as ondulações da superfície do solo.

A quantidade de água infiltrada anualmente na zona das dunas da Gafanha que estamos considerando, pode calcular-se, em primeira aproximação em 20 milhões de metros cúbicos.

Estes raciocínios levavam a considerar um tal recurso como o mais abundante, com a vantagem dos terrenos pertencerem ao Estado e não haver prejuízo apreciável de ninguém pela captação de tais águas para a cidade de Aveiro.

Ora as condições que tornam águas dêste tipo captáveis com segurança são as seguintes:

a sua infiltração até profundidade apreciável (5 a 10 metros), para garantia de caudal de estiagem;

a sua concentração natural em certos pontos, para que a captação seja econòmicamente realizável.

Se essas condições não se dão, as águas das dunas formam um lençol de pequena profundidade que assenta sôbre uma camada colmatada por grãos de areia mais fina reduzindo-se neste caso o volume anual de infiltração, porque a capacidade máxima de impregnação é atingida logo no princípio da invernia, aflorando a água nas depressões.

Nas zonas de pinhal as águas assim superficiais, têm tendência a desenvolver as chamadas «ferro-bactérias», que lhe comunicam um gôsto amargo e provocam a formação de tubérculos nas canalizações.

Sob o aspecto de captagem a dificuldade é então grande, porque a circulação da água é lenta e exige uma grande extensão de galerias drenantes.

Há uma tendência natural das captações em tais condições para sofrerem com o tempo uma forte e gradual diminuïção de caudal. A fraca espessura do lençol aqüífero não permite o seu estabelecimento a maior profundidade e o rebaixamento do nível faz-se segundo a linha parabólica correspondente às características da camada aqüífera logo que se estabelece o regime de drenagem. Depois os próprios movimentos da água vão modificando as condições da camada e aprofundando o nível da circulação subterrânea.

O nível aqüífero baixa, assim, de ano para ano sem remédio. Conheço casos de captações abundantes nestas condições que quási secaram numa dezena de anos.

Tratava-se pois de saber se havia circulação de água potável na base das dunas e para isso se fizeram sondagens, entre as quais uma a cêrca de 300 metros da ponte da Gafanha que atingiu a profundidade de 40 metros.

O resultado foi o seguinte:

Até	$4^m,00$	areia limpa e clara
$4^m,00$ a	$6^m,00$	areia escura com argila negra

$6^m,00$ a $10^m,00$	lodo arenoso com valvas de moluscos
$10^m,00$ a $16^m,00$	lodos
$16^m,00$ a $18^m,70$	areia muito lodosa com abundantes valvas de moluscos
$18^m,70$ a $30^m,90$	areias sujas impregnadas de água salgada
$30^m,90$ a $42^m,00$	terrenos senonianos de argilas cinzentas e cascões calcáreos

Significa esta sondagem que as formações lodosas que predominam entre Aveiro e a ponte da Gafanha se estendem para além, apenas encobertas por uma camada de areia de dunas de 4 metros de espessura. As areias lodosas existentes por baixo dêsses lodos pertencem ao domínio das águas salgadas.

A espessura das areias crescerá um pouco para a parte da duna que fica em frente de Ilhavo, onde há melhores indícios de abundância de água, isso não evitaria captações extensas e obter-se-ia uma água excessivamente hiposalina e ferruginosa com grande dose de matéria orgânica.

Como para as outras hipóteses, as observações foram cuidadosas e foram encarados todos os aspectos, embora sem descer a pormenores que se tornavam desnecessários em face de certas conclusões negativas.

Nesta hipótese de recurso a água das dunas, verifica-se que só haveria possibilidade de captar água em condições satisfatórias se fôssemos a grande distância, isto é, com uma conduta de adução quási tão longa como a que pode trazer a magnífica água do planalto. Com esta diferença porém: Ao passo que na Gafanha seria colhida a água à cota (+ 4,00) ou (+ 3,00), as águas do planalto podem ser captadas cêrca da cota (+ 39,00). Portanto mesmo em condições de igualdade de qualidade da água, — o que não sucede de forma alguma, — não haveria que hesitar em pôr de parte a água da Gafanha em face daquele outro recurso. O acréscimo de encargo de elevação neste caso está muito longe de compensar a economia de expropriações a que obrigará o aproveitamento das águas do planalto.

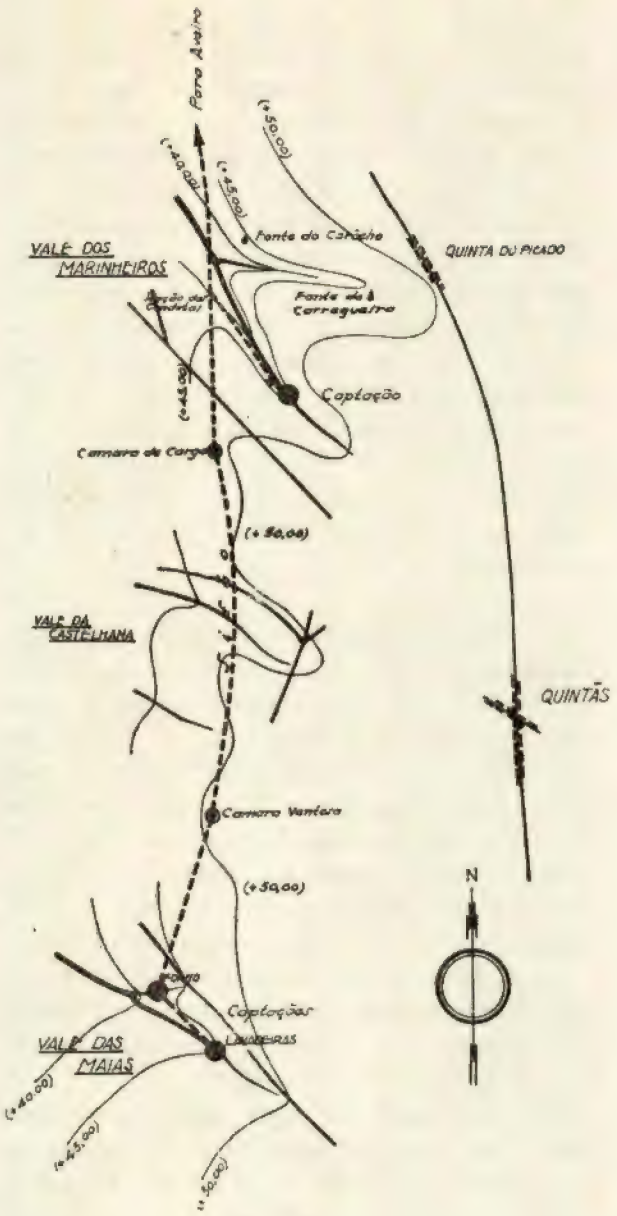


Fig. 2
Esbôço topográfico dos vales estudados

Hipótese das águas do planalto

Poderia pensar-se que foi por exclusão de partes, que esta hipótese mereceu a preferência. Mas não é assim. O seu estudo foi feito também directamente. Posso dizer como dizia o Sr. Dr. Alberto Souto num dos seus citados artigos: — «Eu não tomo partido por nenhuma solução que não seja a melhor solução, a solução cabal, a solução completa, a solução científica dêste gravíssimo problema».

As águas do planalto foram estudadas pelo Sr. Professor Fleury, quando o problema se limitava a reforçar as águas da Fôrca e de S. Bernardo, que alimentam os chafarizes de Aveiro e cujo máximo aproveitamento tinha sido estudado pelo Distinto Engenheiro Von Haffe. O Sr. Professor Fleury preocupava-se em encontrar água que viesse a Aveiro pela simples gravidade como lhe tinha sido pedido em face do aspecto financeiro do problema de então.

Eu comecei os meus estudos pelas águas próximas da Estação das Quintãs e do primeiro vale da Quinta do Picado, que eram as mais próximas da cidade, procurando esclarecer as dúvidas e remover os obstáculos que eram apontados por aquele Professor da seguinte maneira:

«— Estudei as águas das zonas da estação do Caminho de Ferro das Quintãs e da Quinta do Picado, que são mais afastadas e mais altas do que as precedentes (S. Bernardo). O solo é ainda formado pelo Senoniano, mas os depósitos superficiais, Pliocénicos ou Quaternários, são bastante desenvolvidos. A topografia é também mais acidentada e as águas subterrâneas emergem em diversos pontos, nas depressões que cortam as toalhas aqüíferas.

«— A zona da estação do Caminho de Ferro das Quintãs tem emergências de água e poços, que indicam uma toalha aqüífera mais alta do que as de S. Bernardo e da Fôrca».

A emergência de água mais interessante parece ser perto da linha férrea, a menos de 500 metros ao norte da Estação. As águas brotam bastante espalhadas numa pequena depressão situada a jusante de uma zona pantanosa, que recebe águas superficiais correntes. É difícil apreciar o caudal, que não deixa de ser contudo interessante. A jusante desta depressão, a concentração das águas é melhor e o caudal provàvelmente mais forte.

«— Seria indispensável: suprimir os pântanos, fazendo uma drenagem superficial com um escoamento conveniente; — isolar as águas superficiais correntes —; aproveitar sòmente as águas captadas no terreno a mais de 4 metros de profundidade.

«— A zona da Quinta do Picado é situada a pequena distância a poente da precedente, na orla do planalto cortada por dois vales».

As condições hidrogeológicas não são muito diferentes das da zona das Quintãs, mas os vales cortam mais regularmente a toalha aqüífera e as emergências de água são mais caracterizadas.

As condições principais para tais captações serem aconselháveis eram pois a possibilidade de as desenvolver muito, para se reünir um caudal importante, e a viabilidade de saneamento de pântanos e estabelecimento de zonas de protecção onde seria feita uma drenagem perfeita (em valas impermeáveis) das águas superficiais e correspondente aterramento dos poços.

Em tudo o mais serviam, isto é, no caudal presumível (correspondente às necessidades imediatas da Cidade que então se consideravam), na qualidade que, àparte as causas presentes de inquinação que as zonas de protecção eliminariam, só tinham o defeito de apresentar um grau hidrométrico entre 2° e 6°; finalmente, na cota que permitia servir pela gravidade os domicílios em tôda a parte baixa da cidade.

As dificuldades da realização das condições necessárias para se poderem utilizar essas águas é que se revelaram muito mais graves do que se supunha: — tanto, na zona da Estação das Quintãs como na da Quinta do Picado os poços multiplicam-se, são dezenas e dezenas dêles, servindo grandes tratos de horta; — além disso qualquer das zonas é muito povoada; em volta da estação de Quintãs existem já muitas casas e instalações diversas dividindo-se os campos em pequenas quintas com as suas casas de habitação e os seus estábulos por tôda a bacia hidrológica; o Vale da Quinta do Picado tem a montante a povoação dêsse nome e apresenta as mesmas características de intensa exploração agrícola.

Voltando a vista para jusante tem-se a noção da grande actividade de muita gente que vive dessa água, numa faixa rica de cultura quási permanente e cuidada, com azenhas em degraus sucessivos e reprêsas para as lavadeiras das roupas da cidade.

Com razão observa o sr. dr. Alberto Souto: «— pensou-se em trazer essas águas para Aveiro no tempo de Gustavo Ferreira Pinto Basto, mas houve que desistir porque isso provocou um enorme alvorôço nos proprietárias rurais das imediações das valas que

desaguam em Lila e na azenha da Ponte de Pau, do vale de Arada».

Chegou-se agora à mesma conclusão quanto às águas dessas origens. O mesmo inconveniente surgiria se pudesse ser vencida a outra grande dificuldade de protecção da água.

Mas, a hipótese não estava esgotada. O problema agora é outro, pois não se trata de reforçar simplesmente o abastecimento de água de Aveiro, mas de o conseguir inteiramente duma forma perfeita.

Tal objectivo permite ir mais longe, e o planalto das Quintãs continua para sul, mais rico ainda de água e mais livre da população rural.

Sob o ponto de vista hidrogeológico as condições são as mesmas: — a mesma base impermeável senoniana — a mesma cobertura de areias pliocénicas e quaternárias em superfície quási horizontal e mais larga ainda do que do lado norte.

Largos tratos de terreno cobrem-se de pinhal, os poços rareiam, a população acumula-se para as Quintãs, Sobreira ou Vale de Ílhavo e deixa os campos livres de causas de poluïção das águas subterrâneas.

Logo adiante do Vale da Quinta do Picado, que fica a jusante desta povoação, outro vale afluente dêste, surge em pleno pinhal, onde foram rasgadas valas primitivas de drenagem e captagem. Êste vale é designado por Vale do Leitão a jusante e por Pinhal dos Marinheiros na sua parte superior, pelo que se prefere êste nome no presente projecto.

Fig. 3
Captação rudimentar no Pinhal dos Marinheiros

A montante das nascentes do pinhal dos Marinheiros estendem-se campos também de pinhal ou de culturas de sequeiro. As valas reünem-se a certa altura numa única que contorna as curvas de nível de (+ 45,00) e (+ 40,00), dando a volta inteira à linha divisória de águas para caminhar para montante no flanco esquerdo do Vale da Quinta do Picado, a-fim-de receber as águas da Fonte da Carregueira e passar para a outra margem onde se lhe juntam as águas da Fonte do Carocho. Neste ponto a vala conduz já um caudal de estiagem superior a 1.000 metros cúbicos, e embora o vale leve ainda muita água.

Isto significa que há possibilidades de melhorar a colheita das águas do Vale da Quinta do Picado talvez de forma a compensar o desvio para Aveiro das águas do Vale dos Marinheiros, salvo quanto à primeira azenha, porque haverá que baixar muito a cota da vala.

Nas culturas mais a jusante, o prejuízo não será muito sensível, se o trajecto e condições das valas forem melhoradas. Algumas das azenhas terão de suspender a laboração um ou dois meses mais cedo que até agora. E nada mais.

Não há portanto uma perturbação grave na região pelo aproveitamento da água do pinhal dos Marinheiros para abastecer Aveiro.

Esta água tem tôdas as boas condições que faltavam nos dois primeiros vales e a sua análise, mesmo com a captação defeituosa que existe, já satisfaz sôbre o ponto de vista higiénico. Será talvez demasiadamente hiposalina, mas isso não pode contar-se como defeito condenável, porque não tem inconveniente higiénico e pode corrigir-se com facilidade se fôr preciso.

Infelizmente não pode contar-se nas estiagens prolongadas com mais de 600 metros cúbicos de água por dia, para não causar perturbação na região e para não baixar a cota de captação para menos de (+ 39^{m},00).

O Vale seguinte — o de Moitinhos, continuação do da Castelhana é mais abundante, mas condenável, não só por ter a montante um pântano difícil de sanear, como porque recebe as águas da povoação das Quintãs.

Para lá da povoação do Vale de Ílhavo chamam a nossa atenção as nascentes das Maias pela sua abundância expontânea (mais

Fig. 4
Aspecto do Vale dos Marinheiros no local das futuras captações

de 2.000 metros cúbicos por dia em estiagem excepcional), e pela sua situação em zona de grandes pinhais.

A água das valas que partem das nascentes das Maias, junta-se mais adiante às águas de outras valas, dando origem às grandes correntes de água que passam a sul e a norte de Vista Alegre.

As águas das Maias são superiores em tudo, à água dos Marinheiros, salvo na distância e na dificuldade do trajecto para a cidade se quiséssemos utilizar simplesmente a gravidade. Ver-se-á que isso não tem interêsse em vista da necessidade de abastecer as zonas altas da cidade. O trajecto é feito elevando-se logo a água para um ponto próximo, a cota suficiente para daí se atingir a cidade à altura precisa. Aquilo em que elas mais sobrelevam a água do Vale dos Marinheiros é na abundâcia, o que faz com que a derivação de 1.200 metros cúbicos, não seja muito sensível para as propriedades de jusante. Poderíamos só daqui tirar tôda a água necessária para Aveiro, mas há grande economia, em aproveitar a dos Marinheiros até onde esta chegue, na medida que se queira. A abundância da água das Maias permitirá em qualquer momento de uma estiagem muito grave, ou noutra circunstância de fôrça maior deixar correr, por algum tempo, nos caminhos naturais do vale, a água das captações dos Marinheiros.

Conclusões finais

Na comparação das diferentes hipóteses e sua possível combinação, devemos considerar três aspectos:

1.º — A situação do manancial
2.º — A qualidade da água
3.º — Os interêsses de terceiros.

Quanto à situação, há que ter em conta a distância e a cota de captagem, porque o que se poupa nas despesas de primeira instalação de uma conduta extensa pode não compensar o acréscimo e encargos de elevação da água.

Quanto à comparação da qualidade de águas, é preciso não esquecer que ela pode depender dos encargos a tomar com o tratamento de uma delas.

Quanto aos interêsses de terceiros, considere-se que são muitas vezes falsamente julgados, por ser difícil fixar valor aos interêsses de ordem social que devem prevalecer sôbre os interêsses materiais de alguns.

Creio que a resolução de optar por águas derivadas do planalto das Quintãs, na combinação Marinheiros e Maias, pode ser tomada sem receio de se cometer um êrro ou uma injustiça.

Quanto à situação, a água das dunas da Gafanha não sofre comparação com a do Planalto porque a sua distância é pouco diferente, mas exige mais 30 metros de elevação do que a água das Maias para as zonas altas, e também mais 30 metros que a água dos Marinheiros para as zonas baixas. Isto é, o aproveitamento da água das dunas, significaria um acréscimo de encargos correspondente ao custo da elevação a 30 metros de altura de tôda a água, quer de verão, quer de inverno. A qualidade da água do planalto é melhor, sem qualquer dúvida de que a da Gafanha. É, talvez, a única boa entre tôdas as consideradas. Se exigir tratamento para evitar corrosão de aparelhagem (o que será um encargo insignificante) a da Gafanha mais exigiria por ser certamente mais ácida.

Se agora compararmos com a solução do planalto a solução do poço arteziano, notamos que o encargo de elevação — também neste caso de mais de 30 metros do que o da água do planalto, — pode dizer-se equivalente à imobilização de capital que exige o estabelecimento de uma conduta muito mais longa que a da solução da água das Maias. A água do furo arteziano será calcárea o que não é grave, se a água fôr utilizada de mistura com uma água muito pura, mas será uma água possìvelmente muito ferruginosa e com temperatura excessiva o que exigiria tratamentos caros.

Passando a considerar os interêsses de terceiros, vemos que neste último aspecto, só a solução do Planalto é que pode ofendê-los, tanto mais que a água pertence ao Concelho de Ílhavo; mas ficou demonstrado que êsse mal é materialmente remediável e não oferece qualquer gravidade de ordem social ou moral. Sendo assim, o interêsse de ordem nacional e regional de acudir à cidade de Aveiro para a tornar numa cidade próspera é o que deve prevalecer.

É pequena a área de regadio inteiramente prejudicada e não grande a área que sofre algum prejuízo. Além disso só uma azenha tem de ser inutilizada e poucas sofrem prejuízos importantes.

O seguinte esbôço traduz gràficamente alguns dos elementos de comparação e é bem eloqüente se repararmos na curva de nível dos (+50m,00) que nela figura.

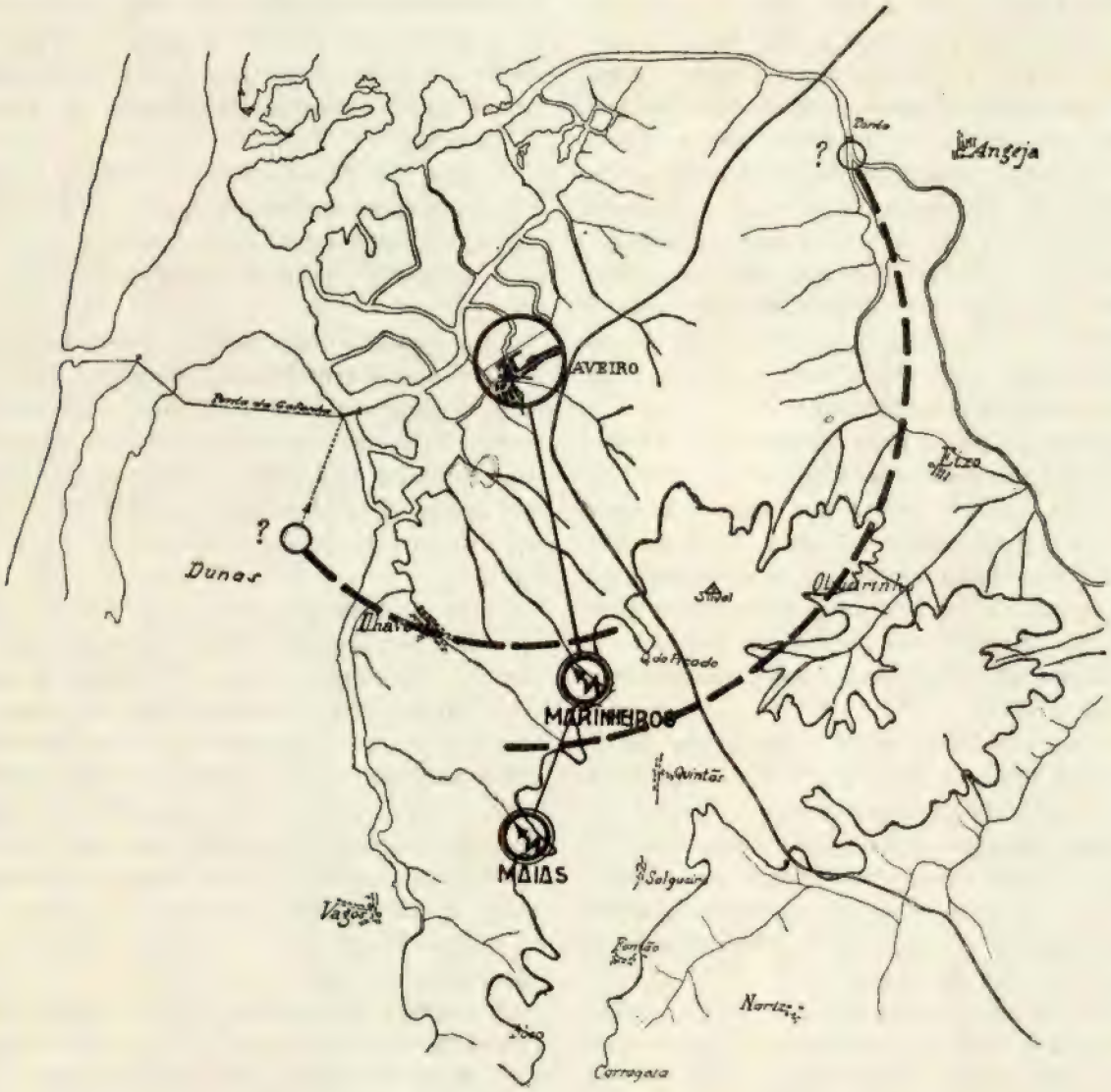


Fig. 5

Trecho da Carta da Região com indicação dos locais a que a memória se refere

A água da Gafanha fica, afinal (devido à passagem forçada pela ponte), mais distante que a dos Marinheiros.

A diferença de distância para a das Maias é pequena e os encargos de elevação seriam cêrca de 200 contos mais que os desta água.

Note-se que as águas de Angeja se fôssem aproveitáveis pela qualidade, ficariam quási tão longe como as Maias, e com encargos de elevação quási tão grandes como a água das Dunas.

A solução poço arteziano na própria cidade poderá servir? Será ela susceptível de satisfazer inteiramente em quantidade e qualidade?

Se assim fôsse, ela poderia representar uma economia de 1.500 contos nas instalações.

Se notarmos que a água dos Marinheiros vem pelo seu pé para tôda a zona baixa, e que basta elevá-la 11 metros para atingir a zona alta, considerando, ainda, que ela vem apenas de 6 quilómetros de distância, fica evidente que ela pagará ràpidamente a sua conduta de adução, em economia de elevação de água relativamente a um poço arteziano na cidade.

Por outro lado, um poço arteziano, provàvelmente de caudal não suficiente para todo o consumo, e fornecendo água certamente muito mineralizada, beneficiaria com a mistura da água hiposalina dos Marinheiros.

Portanto se não parece possível que a solução do poço arteziano satisfaça só por si, pode admitir-se que ela possa ser vantajosa para evitar a expropriação da água do Vale das Maias e respectiva conduta, a-pesar do encargo de maior elevação. Isto porque a mistura com água dos Marinheiros permitiria dispensar o tratamento da água dêsse poço, quási certo sem tal mistura.

Assim, a solução mixta, — água dos Marinheiros e água do poço arteziano, — poderia ser aconselhada se soubéssemos o caudal e a qualidade da água dêsse poço. Antes, não!

Se o Estado concorresse (como seria justo), para a experiência, ela deveria ser feita enquanto se executasse a captação dos Marinheiros e restantes obras da cidade.

Se houvesse êxito na tentativa, isto é, obtido no poço arteziano um rendimento que garantisse, pelo menos 1.200 metros cúbicos em 24 horas, de água de qualidade corrigível e econòmicamente utilizável em mistura com a água dos Marinheiros, poder-se-ia desistir por agora da captação da água Maias.

Resumo do projecto

As captações ficam situadas no Vale dos Marinheiros e no Vale das Maias, cujas distâncias a Aveiro são respectivamente de 6 quilómetros e 8,8 quilómetros. O Vale dos Marinheiros fornecerá, no mínino, 600 metros cúbicos diários. As captações são constituídas por galerias drenantes das águas que circulam numa camada arenosa, a cêrca de 4 metros de profundidade.

No Vale das Maias, as galerias terminam em poço donde se faz a elevação da água. No Vale dos Marinheiros, terminam num reservatório de regularização ou mãi de água, com a toma de água à cota ($+ 39^m,00$) donde segue até à cidade pela gravidade, chegando ali à cota ($+ 34^m,00$).

A água das Maias captada à cota ($+ 37^m,00$) é elevada mecânicamente, no próprio local das captações, para a cota ($+ 53^m,00$) seguindo daí pela gravidade para a cidade onde chega à cota ($+ 45^m,00$).

Para evitar a duplicação de condutas, entre o Vale dos Marinheiros e Aveiro é intermitente a condução da água dos Marinheiros, mercê do armazenamento na Mãi de Água, utilizando assim uma única conduta no transporte das águas. A conduta que vem das Maias liga, no Vale dos Marinheiros, à conduta que parte daqui.

Como a água das Maias é bombeada na medida das necessidades do consumo (apenas durante um certo número de horas), a água dos Marinheiros é transportada no restante tempo. Uma tal combinação pode-se fazer em tôdas as hipóteses de consumo e de caudais.

Deve notar-se que o aproveitamento da água dos Marinheiros, calculado em 800 metros cúbicos diários, em média anual, representa, sôbre a elevação da mesma quantidade de água das Maias, uma economia de cêrca de 100 contos por ano.

A conduta de bombagem das Maias sobe gradualmente até à cota ($+ 53^m,00$). Aqui, a disposição do terreno aconselha um trôço em sifão de ar livre. É a partir da segunda câmara dêste sifão, à cota ($+ 50^m,50$) que começa ver-

dadeiramente a conduta de adução, de 300 mm de diâmetro. A pouca distância do seu início faz-se a inserção da conduta da água dos Marinheiros à cota (+ $37^{m},50$).

Esta conduta dirige-se sensivelmente na direcção S-N, através do campo, passa junto da povoação de Bom Sucesso e inflecte depois para E. para entrar na estrada que liga Quintãs e Quinta do Picado a Aveiro.

Há um depósito para servir as zonas altas e outro para as zonas baixas. Por economia e simplicidade, estes depósitos são sobrepostos, ficando o inferior com o fundo à cota (+ $29,^{m}00$) e o superior à cota (+ $41^{m},00$) e têm respectivamente, as capacidades de 740 metros cúbicos e 550 metros cúbicos, correspondentes aos caudais das respectivas zonas. No inferior está instalada uma estação de sobreelevação para o superior para se poder utilizar nas zonas altas a água dos Marinheiros quando o seu caudal ultrapasse as necessidades das zonas baixas.

Considerações sôbre linhas de influência nos sistemas triangulados

POR ANTÓNIO DE SOUSA COUTINHO

(Do Curso de Engenharia Civil)

O princípio fundamental a realizar nas estruturas trianguladas sujeitas a cargas móveis, é a aplicação destas cargas nos nós do sistema, o que é conseguido por meio da conhecida disposição das carlingas e longarinas.

Um dos métodos mais usados para o cálculo de semelhantes estruturas é, pela sua comodidade, o das linhas de influência.

O método clássico das linhas de influência aplicadas a um sistema triangulado qualquer sujeito a um combóio de cargas, supõe que as longarinas se dividem em tramos independentes, isto é, imagina que as fôrças actuantes nas carlingas dependem apenas das cargas que estão sôbre o tramo da longarina a que correspondem essas carlingas, e consiste no seguinte:

Seja AB a longarina, viga percorrida directamente pelo combóio de cargas, e CD a corda do sistema triangulado onde estão os nós submetidos às sobrecargas por intermédio das carlingas ... k — 1 k k + 1 ... (fig. 1).

Imaginemos traçada a linha de influência ... E_{k-1} E_k E_{k+1} ... relativa a qualquer esfôrço (tensão numa barra do sistema, momento flector ou esfôrço transverso em qualquer nó, etc.).

A tensão total devida ao combóio ... P_{i-1} P_i P_{i+1} ... numa posição qualquer é:

$$T = \sum_{k=1}^{k=n} R_k x_k$$

sendo n o número de nós sujeitos às sobrecargas móveis, R_k a carga que actua no nó k, isto é, a fôrça transmitida pela longarina à carlinga k, e x_k a ordenada da linha de influência na vertical da carga R_k (fig. 1).

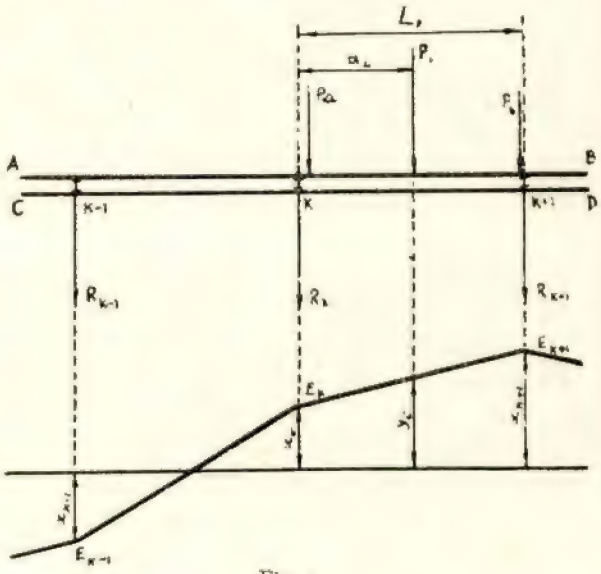


Fig. 1

É fácil mostrar que, a-pesar-do combóio não percorrer directamente a corda CD do sistema triangulado, se pode proceder como se tal acontecesse, isto é, somar os produtos dos valores das cargas P_i que constituem o combóio pela respectiva ordenada da linha de influência y_i.

Se se vai insistir em dar semelhante demonstração é apenas com o fim de melhor se compreender o sentido da correcção que se vai depois fazer.

É costume fazer esta demonstração da seguinte maneira:

Considera-se um tramo qualquer da longarina, k, $k+1$ por exemplo, sôbre o qual estão as cargas P_i ($i = a$, $a+1$, $a+2$, ... b, onde P_a e P_b são as cargas que limitam o grupo de fôrças que está sôbre a longarina k $k+1$). Sendo L_k a distância entre os nós do

sistema triangulado, que é o vão desta longarina considerada e α_i a distância de cada uma das cargas P_i ao nó k (fig. 1), as cargas transmitidas pelas carlingas aos nós do sistema são:

$$R_k = \sum_{i=a}^{i=b} P_i \frac{L_k - \alpha_i}{L_k}$$
$$R_{k+1} = \sum_{i=a}^{i=b} P_i \frac{\alpha_i}{L_k} \qquad (1)$$

Da fig. 1 tira-se

$$\frac{x_{k+1} - x_k}{L_k} = \frac{y_i - x_k}{\alpha_i} \qquad (2)$$

Procuremos a soma dos produtos dos valores das cargas P_i pela respectiva ordenada da linha de influência y_i. Tirando de (2) o valor de y_i, e atendendo às igualdades (1), obtém-se:

$$\sum_{i=a}^{i=b} P_i y_i = R_k x_k + R_{k+1} x_{k+1}$$

O carácter aproximado desta demonstração reside no facto de se considerar as longarinas como vigas de tramos independentes, dando para valores das acções sôbre os nós, expressões de tipo (1), as quais, sendo descontínuas, introduzem a necessidade de se isolar cada um dos tramos para se fazer a demonstração.

Ocorre então admitir que a carga R_k sôbre a carlinga de ordem k, será não só função dos pesos sôbre as longarinas k, $k+1$ e k, $k-1$ como também das cargas sôbre qualquer outra longarina. Parece pois mais lógico tratar o sistema de fôrças ... R_{k-1} R_k R_{k+1} ... como um sistema de fôrças iguais e opostas às reacções dos apoios duma viga contínua, e não como fôrças iguais e opostas às reacções dos apoios de vigas de tramos independentes.

Bem entendido, que os apoios de uma tal viga contínua não são indeformáveis: êles são constituídos pelas carlingas, e, por tal motivo, sofrem deslocamentos verticais que são as flechas na secção de intersecção com as longarinas, das vigas que constituem as carlingas.

O tratamento analítico de semelhante questão está automàticamente pôsto de lado, tal a interminável série de cálculos que envolveria.

Mas, desde que é facílima a obtenção das linhas de influência das reacções dos apoios duma viga contínua, por um método que adiante será exposto, quer os apoios sejam ou não deformáveis e seja qual fôr o grau de encastramento dêstes apoios, é possível encarar a correcção das linhas de influência num sistema triangulado, com um pequeno aumento de trabalho.

Consideremos (fig. 2) a longarina AB que descarrega nos nós da corda CD do sistema triangulado por intermédio das carlingas. Imaginemos traçadas as linhas de influência das reacções de cada apoio duma viga contínua, que é a longarina. Claro que a linha de influência relativa ao primeiro apoio da viga contínua não tem interêsse, pois as fôrças que actuam no apoio do sistema triangulado não produzem qualquer tensão nas suas barras.

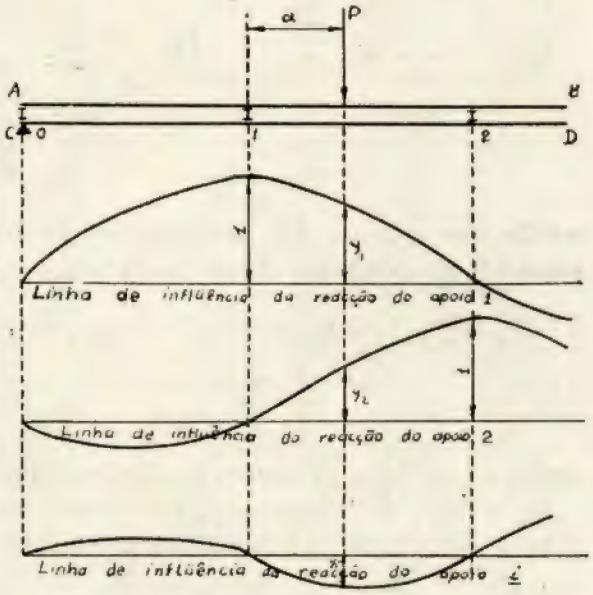


Fig. 2

Consideremos uma carga P sôbre a longarina AB. Se esta fôrça ocupar as secções 1 2 ... i ... de intersecção com a carlinga, a tensão em qualquer barra é a mesma, quer se considere a longarina como viga contínua, quer como viga de tramos independentes, visto que em qualquer dos casos as restantes fôrças do sistema equivalente a P e passando pelos outros apoios da viga contínua, são nulas.

Se a carga ocupar uma posição qualquer α em relação ao apoio da esquerda, as fôrças actuantes nos nós do sistema são: Py_1 Py_2

... Py_i ... sendo y_1 y_2 ... y_i ... as ordenadas das linhas de influência das reacções dos apoios, com o respectivo sinal.

Vejamos agora como construir os pontos intermédios duma linha de influência num sistema triangulado cujas ordenadas nos nós y_1 y_2 ... y_i ... foram obtidas na hipótese da carga unitária ocupar sucessivamente cada um dêsses nós.

A ordenada y desta linha de influência (fig. 3) multiplicada pela carga P produzirá a mesma

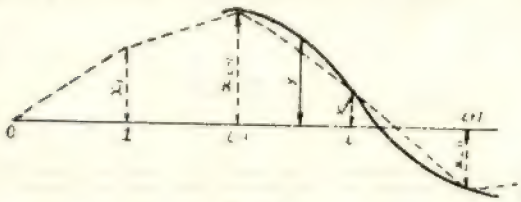


Fig. 3

tensão que a soma dos produtos das fôrças actuantes nos nós pelas ordenadas x_1 x_2 ... x_i ...

$$T = Py = Py_1 x_1 + Py_2 x_2 + \dots + Py_i x_i + \dots = \sum_{i=1}^{i=n-1} Py_i x_i$$

sendo n o número de tramos da viga contínua.

Se a fôrça P fôr unitária, a ordenada da linha de influência do sistema triangulado vale

$$y = \sum_{-1}^{i=n-1} y_i x_i \qquad (3)$$

Daqui se tira um processo fácil de construir a linha de influência:

A ordenada y de cada um dos seus pontos é obtida pela soma dos produtos das ordenadas correspondentes das linhas de influência das reacções dos apoios y_i pelas ordenadas da linha de influência a construir nos nós respectivos x_i, as quais se sabem perfeitamente determinar.

Note-se que estas ordenadas x_i se têm sempre de determinar, seja qual fôr o método seguido. As quantidades y_i são facílimas de obter, como veremos a seguir, e então a linha de influência de qualquer tensão nas barras do sistema triangulado torna-se fácil de construir por pontos, com a aplicação da fórmula 3.

Determinação da linha de influência da reacção dum apoio duma viga contínua com deslocamento dos apoios

Consideremos a viga representada na fig. 4 a. Uma determinada fôrça P aplicada em qualquer secção da viga terá um deslocamento correspondente d e as reacções dos apoios R_1 R_2.... terão por deslocamentos correspondentes d_1 d_2... respectivamente.

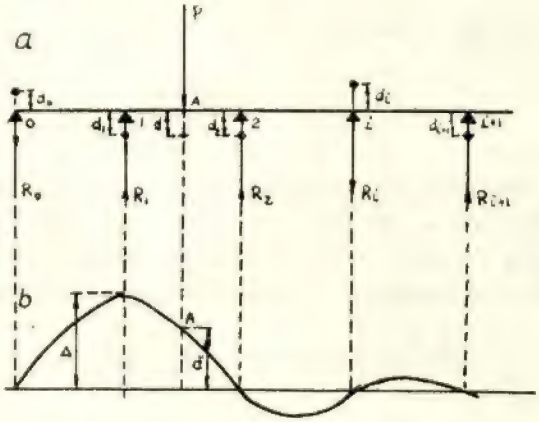


Fig. 4

Retirando agora a fôrça P e impondo ao apoio 1 um deslocamento correspondente a R_1, o ponto de aplicação A da carga P (fig. 4 b) sofrerá um deslocamento d' na direcção de P, e, visto que se trata do estudo do apoio 1, obrigaremos os outros apoios a sofrerem deslocamentos correspondentes às reacções dos apoios, nulos.

Ora ao deslocamento d' na direcção de P corresponde uma fôrça nula, por hipótese, e ao deslocamento Δ corresponde uma reacção do apoio R_1, e, então, pelo teorema de Maxwell:

$$P\, d' + R_1\, \Delta = R_1\, d_1$$

ou seja

$$R_1 = P\, \frac{d'}{d_1 - \Delta} \qquad (4)$$

d_1 é a flecha da carlinga na sua intersecção com a longarina, quando actua a fôrça P e é evidente que d_1 depende de R_1.

Para levantarmos esta indeterminação, suponhamos que não há assentamento dos apoios, isto é, que $d_1 = 0$

$$r_1 = -P\, \frac{d'}{\Delta}$$

Se a fôrça que percorre a viga fôr unitária, $P = 1$, virá:

$$r_1 = -\frac{d'}{\Delta} \qquad (5)$$

e, como Δ é uma constante, a reacção do apoio *1* é, àparte o factor $\frac{1}{\Delta}$ e àparte as unidades (que dependem das unidades de $P = 1$), o deslocamento correspondente d'.

Daqui resulta a seguinte construção:

Tomemos uma barra fina e flexível (por exemplo, uma vareta de aço de 2 ou 3 mm de diâmetro), e fixemo-la nos pontos *0 1 2 3* ... por meio dos pregos A B C D....., de tal modo que as distâncias L_{01} L_{12} L_{23} ... são, numa certa escala, os vãos dos tramos da viga contínua a estudar (fig. 5).

Fazendo que o apoio *1* sofra um deslocamento Δ na direcção de P (por exemplo $\Delta = 5$ cm) a forma que a barra toma é a linha de influência da reacção do apoio *1*, e o valor da

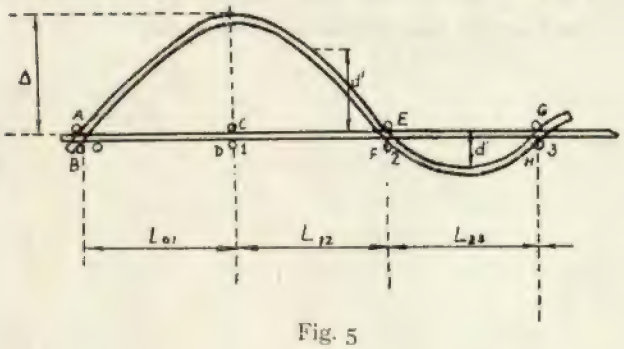


Fig. 5

reacção obtém-se fazendo o cociente $\frac{d'}{\Delta}$, sendo d' tirado da forma da barra.

Está assim determinada a linha de influência da reacção do apoio, quando não haja assentamentos.

Na verdade, o apoio *1* sofre um deslocamento d_1 e a linha de influência nêste caso é dada pela fórmula 4.

Ora é claro que, a cada valor de r_1 corresponderá um certo valor de d_1, e, a linha de influência 4 pode ainda determinar-se cômodamente do seguinte modo:

Suponhamos conhecida a flecha da carlinga na sua intersecção com a longarina, quando nesta secção actua uma fôrça unitária. Chamaremos Δ_1 a essa flecha. Se a carga sôbre essa secção da carlinga, em vez de ser unitária tiver um valor r_1, o deslocamento do apoio será $r_1 \Delta_1$, e o valor da reacção do apoio R_1 que corresponde a êste deslocamento $d_1 = r_1 \Delta_1$ é dado pela fórmula 4:

$$R_1 = \frac{d'}{r_1 \Delta_1 - \Delta} = \frac{d' \Delta}{-d' \Delta_1 - \Delta^2} \qquad (6)$$

Logo, para se ter a nova linha de influência, ou melhor, a ordenada em cada ponto, y_1 da fórmula 3, da linha de influência das reacções do apoio *1* quando houver assentamentos, bastará em cada secção da longarina medir d' e efectuar as operações indicadas na fórmula 6 onde Δ e Δ_1 são quantidades conhecidas e constantes.

Note-se que, se se tomar o inverso de R_1, as operações facilitam-se bastante:

$$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{y_1} = -\frac{\Delta_1}{\Delta} - \frac{\Delta}{d'} \qquad (6\,a)$$

Na aplicação destas fórmulas é necessário atender aos sinais relativos de tôdas estas quantidades que figuram em 6 e 6 a.

Determina-se assim portanto, para cada posição da carga unitária, um valor de y_1, o qual dará origem à primeira parcela do somatório da fórmula 3.

Do mesmo modo se determina o valor y_2 — ordenada da linha de influência das reacções do apoio *2* quando haja assentamentos: basta imprimir ao apoio *2* um deslocamento Δ (por exemplo $\Delta = 5$ cm) conservando os outros fixos (mas podendo sofrer rotações). A partir da forma que a barra toma determina-se imediatamente d'. Sendo Δ_2 a flecha da carlinga quando sôbre a sua intersecção com a longarina actua uma carga unitária, a ordenada y_2 a substituir na fórmula 3 é:

$$R_2 = y_2 = \frac{d' \Delta}{-d' \Delta_2 - \Delta^2}$$

ou

$$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{y_2} = -\frac{\Delta_2}{\Delta} = \frac{\Delta}{d'}$$

Ordinàriamente as características mecânicas das carlingas são tôdas iguais numa mesma estrutura, e então $\Delta_1 = \Delta_2$, e, operando de modo

que os deslocamentos impostos aos apoios Δ sejam iguais para todos os apoios, os cálculos facilitam-se imenso pois apenas d' varia de linha de influência para linha de influência.

Põe-se nesta altura o seguinte problema:

Ao determinar-se, pela forma que tomava a barra, a linha de influência das reacções dum apoio, supôs-se que a viga contínua (longarina) rodava livremente nos apoios, o que pràticamente se não verifica: as longarinas estão ligadas às carlingas por meio de rebitagem, o que lhes dará um maior ou menor encastramento.

É ainda possível determinar neste caso a linha de influência das reacções de qualquer apoio, impedindo as secções dos apoios que se não podem deslocar, de sofrerem determinadas rotações, de acôrdo com o encastramento a que a viga está sujeita. Mas isto sai já fóra destas considerações.

Êste método de determinação de linhas de influência em qualquer sistema triangulado é absolutamente geral: êle pode aplicar-se a sistemas triangulados planos ou no espaço, isostáticos ou hiperstáticos.

Pode-se afirmar, que a grande maioria dos sistemas triangulados sujeitos a sobrecargas rolantes, são sistemas triangulados no espaço. Dêles fazem parte todos os elementos da estrutura, excepto, é claro, as longarinas, que não podem fazer parte do sistema triangulado por estarem sob a acção directa das sobrecargas móveis.

A consideração dos diferentes elementos da estrutura (barras das chamadas vigas principais, carlingas e contraventamentos) como formando apenas uma única estrutura no espaço (a qual é quási sempre interiormente hiperstática), tendo uma resolução teòricamente fácil pela aplicação do primeiro teorema de Castigliano, tem a grande virtude de, não só conduzir a menores secções, mas, o que é fundamental para o Engenheiro, dar uma distribuïção das tensões pelas diferentes barras da estrutura muito mais aproximada da realidade, visto que as hipóteses feitas estão muito mais próximas desta realidade: a estrutura é considerada como um todo e não é parcelada em partes independentes.

Para o estudo de tais estruturas é fundamental o uso das linhas de influência.

Algumas notas sôbre o nivelamento da via férrea

Processo dos levantes medidos

POR JORGE A. CARQUEJA GONÇALVES
(Do Curso de Engenharia Civil)

A tecnologia estuda e procura melhorar os processos necessários à produção de bens; a Economia verifica se êles estão ou não concordes com o princípio da eficácia do esfôrço produzido.

A localização do «ponto crítico» para uma emprêsa com fins económicos, isto é, a obtenção da melhor técnica com viabilidade económica é um problema bem difícil de resolver.

Vem isto a propósito de um novo processo de nivelamento de via, que vamos procurar descrever ràpidamente. Os resultados técnicos e económicos obtidos em certos países (poucos ainda para se tirar qualquer conclusão) são considerados satisfatórios; é possível que em Portugal dê também bons resultados, estando a Companhia de Caminhos de Ferro Portugueses a estudar uma variante do processo no seu distrito de experiências.

Início e evolução dêste processo

Os esforços provocados pela acção das cargas rolantes numa via férrea são recebidos pelos carris, transmitidos pelas travessas aos seus pontos de apoio, passando dêstes à infra-estrutura, que os absorve.

Para a obtenção de um bom caminho de rolamento interessa melhorar todos êsses elementos, indo nós agora tratar dos pontos de apoio das travessas. São, como é sabido, constituídos, em plena via, por balastro comprimido rodeado por balastro sôlto, procurando dar-se-lhe a forma de tronco de cone.

Essa compressão é obtida por ataque enérgico, com a bita, do balastro situado por baixo dos pontos de encontro dos carris com a travessa.

Com o aumento da intensidade do tráfego e da velocidade com que é feito, êsses dois pontos por travessa vão-se desnivelando com uma rapidez cada vez maior; isso obrigou as Companhias a estudar outro processo de nivelamento de via.

Os levantes medidos apareceram em 1908 em Inglaterra, mas, só depois de várias modificações e inovações, devidas principalmente aos engenheiros da Companhia do Norte de França, êste método passou a ter interêsse prático, podendo considerar-se o ano de 1930 como o do início da sua utilidade.

Actualmente usa-se não só na Europa mas também na América.

Na linha Paris-Havre, por exemplo, o seu emprêgo provocou economias apreciáveis.

Descrição geral

Podemos distinguir duas fases principais neste processo, sendo a primeira destinada à avaliação dos desníveis e a segunda à sua correcção.

Na primeira fase, vamos considerar duas espécies de desníveis: a primeira diz respeito aos desníveis lentos a que chamaremos, por comodidade, «permanente»; a segunda espécie abrange os que se dão à passagem das cargas rolantes, chamando a estes «instantâneos».

Mediremos os primeiros por meio de um nivelamento e os segundos com um flectómetro aplicado ao carril e à plataforma ou com um indicador de vazios aplicado à travessa.

Nada impede que o nivelamento seja feito à maneira usual, utilizando um nível e uma mira; há porém aparelhos com disposições especiais que permitem maior rapidez de execução,

Suponhamos, por exemplo, uma alidade de óculo ligada a uma pequena haste metálica que se prende ao carril por meio de garras.

À distância de 25 a 30 metros colocamos uma pequena mira ligada ao carril pelo mesmo sistema da alidade e, finalmente uma terceira mira, intermédia, móvel, fazendo-se as leituras nos pontos de cruzamento do carril com as travessas. As leituras podem ser registadas sôbre as travessas respectivas.

Tanto as miras como a alidade dispõem, na base, de níveis transversais de bolha de ar.

Um outro sistema análogo, mas mais simples, consiste no emprêgo de uma alidade de óculo e de uma mira falante.

Coloca-se do mesmo modo a alidade num ponto do carril e a mira à maior distância possível em condições de fazer boas leituras; seguidamente vai-se aproximando a mira e registando as leituras.

Um terceiro processo, aplicado pela «London Midland & Scottish Railway» apresenta várias vantagens sôbre os anteriores (fig. 1).

Baseia-se nos alinhamentos obtidos por 3 cruzetas; a primeira apresenta uma fenda horizontal colocada a altura tal que permita a um observador sentado sôbre o carril fazer leituras em boas condições; a segunda é pintada a duas côres, uma clara e outra escura, como se vê na figura 2. Está ligada ao carril por um sistema constituído por duas superfícies cilíndricas concêntricas, com movimento relativo por meio de cremalheira e roda dentada, sendo êsse movimento medido por uma escala graduada em milímetros; a terceira cruzeta é pintada também a duas côres dispostas em quartel e de modo a que os dois rectângulos superiores possuam a mesma ordem de côres que os da segunda cruzeta.

Fig. 1 — Nivelamento por meio de cruzetas

Fig. 2 — Vista parcial da cruzeta intermédia

Pôsto isto, consideraremos, como nos casos anteriores, a primeira e a terceira fixas e a segunda cruzeta móvel.

O plano de nível será dado pelas três rectas paralelas que passam pela fenda da 1.ª cruzeta, pelo bordo superior da 2.ª e pela separação dos rectângulos superiores e inferiores da 3.ª cruzeta.

Os desníveis serão lidos na escala e imediatamente registados na travessa respectiva, podendo já notar-se esta vantagem sôbre os processos anteriores em que a leitura é registada na alidade.

Apresenta maior rapidez de execução e menor probabilidade de êrro.

Tôdas elas possuem nível transversal e são fixados a qualquer tipo de carril por meio de garras.

Convém, em qualquer dos sistemas, fazer

o nivelamento por pontos altos, pois podemos fazer uma verificação rápida das leituras; tem-se notado na prática que é regra geral a inexistência de pontos de inflexão na curva que passa pelos pontos representativos dos valores registados.

Avaliada a deformação permanente, passemos agora a calcular a deformação instantânea.

Temos, como dissemos anteriormente, dois processos a seguir: medir a flexão dos carris, ou avaliar a depressão da travessa.

Êste último é mais empregado, cremos que por razões de simplicidade.

A medição de flexão dos carris faz-se por intermédio de um flectómetro colocado tão

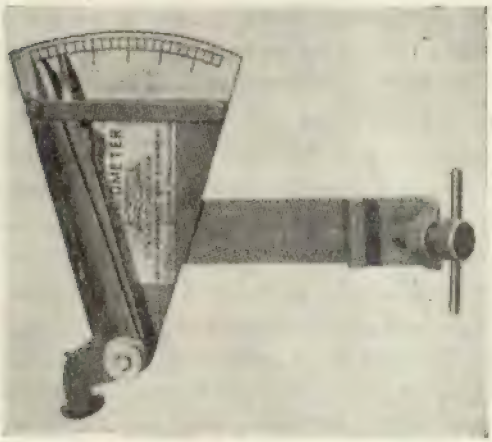


Fig. 3 — Indicador de vazios

próximo quanto possível da travessa a estudar. Liga-se o flectómetro à patilha do carril e apoia-se a haste metálica, que corre ao longo do corpo do aparelho, na infra-estrutura ou sôbre uma pedra horizontal do balastro. À passagem das cargas, o corpo desce, mantendo-se firme a haste e logo que cessem de actuar o corpo regressa à posição primitiva arrastando consigo, por intermédio de uma mola, a haste que nos vai indicar numa escala graduada o valor do desnível; êste processo permite-nos assim efectuar leituras depois da passagem das cargas.

No caso de querermos medir a descida da travessa directamente, usa-se um indicador de vazios.

Êste aparelho (fig. 3) é constituído por um corpo com escala e por dois ponteiros que rodam em tôrno de um eixo; um dos ponteiros é livre e repousa sôbre o outro por meio de uma saliência; o segundo prolonga-se além do eixo por intermédio de uma pequena haste terminando em botão; possue uma mola que o obriga a indicar o máximo da escala, quando em repouso.

Para efectuar uma medição procede-se do seguinte modo: crava-se uma pequena estaca no solo, à qual se liga o corpo do aparelho e apoia-se o botão na travessa forçando o ponteiro a indicar o zero da escala, após o que se fixa o aparelho à haste por meio do sistema que se vê na figura 3, levando-se o ponteiro móvel também ao zero. A passagem de uma carga faz com que a travessa desça, acompanhando-a o botão por intermédio da mola tensa; os dois ponteiros sobem até um máximo e, terminada a acção da carga, a travessa, levantando-se, obriga o ponteiro ligado ao botão a regressar à posição primitiva ficando o outro a indicar o valor máximo atingido.

Temos assim, em cada travessa, dois valores: o que é devido à deformação permanente e o que diz respeito à deformação instantânea. A sua soma dá-nos a altura de pedra a introduzir entre a travessa e o apoio existente, pelo que diz respeito a uma fila de carris.

Feita a avaliação dos desníveis entremos agora na segunda fase do processo dos levantes medidos, que é constituída, como se disse, pela correcção dêsses desníveis.

Vejamos como se faz essa correcção:

Desguarnece-se parte da linha de duas em duas travessas em cada fila, correspondendo a parte guarnecida numa fila à parte desguarnecida na outra. Êsse desguarnecimento apresenta a forma aproximada de um paralelipípedo, em que um dos lados da base é a distância entre travessas, o outro mede uns 30 centímetros para cada lado do eixo longitudinal do carril e a altura é igual à da travessa.

Desguarnecida a linha, é esta levantada por quatro macacos, dois em cada fila, distanciados de oito travessas, por exemplo, e colocados do lado de fora da via e nos intervalos guarnecidos das travessas.

Fig. 4
Caixa de dosagem

Fig. 5 — Medição e introdução da miüçalha

Seguidamente (fig. 4), com o auxílio de uma caixa de dosagem, munida de fendas graduadas, mede-se a quantidade de miüçalha (pedra de 5 a 15 milímetros) espalhando-a depois numa pá plana com o cabo em feitio de colo de cisne, como se vê na figura 5; introduz-se essa pá no espaço livre entre a travessa e o apoio, despejando-a com cuidado de modo a fazer uma distribuïção regular. Deve colocar-se, em cada apoio, um grupo de quatro pàsadas juxtapostas e, se a altura representativa do volume a introduzir fôr maior do que a capacidade da caixa de dosagem, decompô-lo-emos de modo a ser igual ou menor; coloca-se então a miüçalha por camadas sobrepostas, tantas quantas forem necessárias para perfazerem a altura medida, como se indica na figura 6.

Fig. 6 — Disposição das camadas sob as travessas

Feito isto, retiramos os macacos e guarnecemos a via, após o que será dada como livre.

Normas a observar

Temos, até aqui, considerado a via em patamar e em recta e ainda iguais desníveis nos apoios.

Se a via fôr em rampa tudo se passa como anteriormente.

Numa via em curva devemos ter em linha de conta a sôbre-elevação.

Se se tratar de desníveis desiguais, a travessa sofrerá dois movimentos um de translacção e outro de rotação, ao passo que se tivéssemos o mesmo valor para as duas filas dava-se ùnicamente o movimento de translacção.

Deve-se ainda atender à distribuïção dos esforços devidos à sobrecarga.

Atendendo ao movimento de rotação e à citada distribuïção é fácil estabelecer-se um quadro para os casos vulgares:

Vejamos um exemplo. Suponhamos que a fila A necessita de um levante de 25 milímetros e a fila de 15 milímetros. Consideremos ainda que a caixa de dosagem só mede volumes correspondentes a alturas de 10 milímetros; fazíamos a distribuïção da seguinte maneira:

Fila A	Fila B
29–26–24–21	19–16–14–11

Na fila A colocávamos 3 camadas sobrepostas, sendo as duas primeiras de 10 milímetros cada, e a última de 9–6–4–1 milímetros, respectivamente. Na fila B bastariam duas camadas: a primeira de 10 e a segunda de 9-6-4-1.

A caixa de dosagem pode ser posta de parte, ao fim de certo tempo, pois o pessoal treinado avalia a quantidade de miüçalha

por sentimento, com um êrro bastante inferior à tolerância.

No caso do balastro não estar bem acamado, pode-se empregar pedra de dimensões maiores.

O abastecimento de miüçalha poderá ser feito por depósitos, colocados de 100 em 100 metros, ao longo da linha.

O balastro de guarnecimento da via poderá ter as dimensões usuais, embora o emprêgo de balastro mais pequeno não traga inconvenientes de maior.

Atribue-se-lhe dificuldades de drenagem, mas, as causas que as motivam são comuns aos dois. Ambos necessitam de ser limpos de tempos a tempos e o balastro fino presta-se a isso muito melhor.

Deve-se fazer o levante ao mesmo tempo nas duas filas. No caso de grandes levantes convém dividi-los em duas partes, só se efectuando a segunda depois da passagem dum combóio, para regularizar o primeiro levante.

Vantagens e inconvenientes

Passaremos em revista algumas vantagens e inconvenientes de carácter técnico e, por fim, de carácter económico.

As travessas deformam-se, com o ataque à bita, no seu plano da base, tendem a tomar uma forma arredondada na base, deixando de oferecer uma superfície estável.

As travessas das juntas são mal atacadas pelo lado de dentro, mesmo com o emprêgo de bitas especiais; o balastro penetrando mais do lado de fora da junta provoca uma rotação nas travessas, que arrastam consigo os carris.

Tudo isto tem influência na obtenção de um bom caminho de rolamento e, com os levantes medidos, tal não se dá.

O esfôrço físico a dispender é muito menor, quási nulo, neste processo do que no do ataque à bita.

Por êste motivo, a conservação do material faz-se em melhores condições.

Não deve ser empregado em linhas em construção porque provoca, de início, grandes assentamentos.

Não convém também utilizá-lo em vias sujeitas a grandes desquadramentos, porque seria vulgar fazer-se a introdução de miüçalha, em balastro sôlto, que a absorveria sem qualquer resultado prático.

A parte delicada dêste processo é o estudo da sua viabilidade económica.

Seria necessário um estudo profundo sôbre os materiais a utilizar, o número de homens necessários e a velocidade de trabalho.

No sistema de cruzetas e indicadores de vazios, por exemplo, não teríamos a apontar grande preço de custo, considerando um grupo de 3 cruzetas, 12 indicadores, 4 macacos e 4 ou 8 pás por distrito, dependendo o número de aparelhos de nivelamento e o de aparelhos de correcção, da velocidade relativa de trabalho.

Um outro problema é o da pedra; seria necessário um estudo experimental da qualidade e dimensões e uma escolha do tipo geológico a adoptar para cada local, tendo em vista facilidade de obtenção e transporte.

É possível que a pedra aplicada no processo de ataque à bita sirva também para o dos levantes medidos, tanto mais que não é sujeita aos choques violentos da bita.

Poder-se-ia, em certos casos, aproveitar os detritos de pedreira como faz a Companhia do Norte da França.

De um modo geral as rochas eruptivas, em especial grande quantidade dos granitos e sienites da Meseta e o manto basáltico de Lisboa por um lado e certas rochas sedimentares, como o calcáreo compacto do Turoniano, as quartzites, certos grês das Bordaduras por outro, devem permitir fàcilmente obter em qualquer ponto do país miüçalha em boas condições para resistirem às fortes compressões a que se sujeitam.

Finalmente deve-se atender à economia que representa um bom caminho de rolamento, pela diminuïção de pontos baixos, redução de juntas defeituosas, melhor conservação dos rodados das viaturas e conseqüente melhoria de comodidade e segurança das pessoas e coisas transportadas.

Excursão de estudo dos alunos do 6.º ano de engenharia civil

BARRAGEM DE SANTA LUZIA

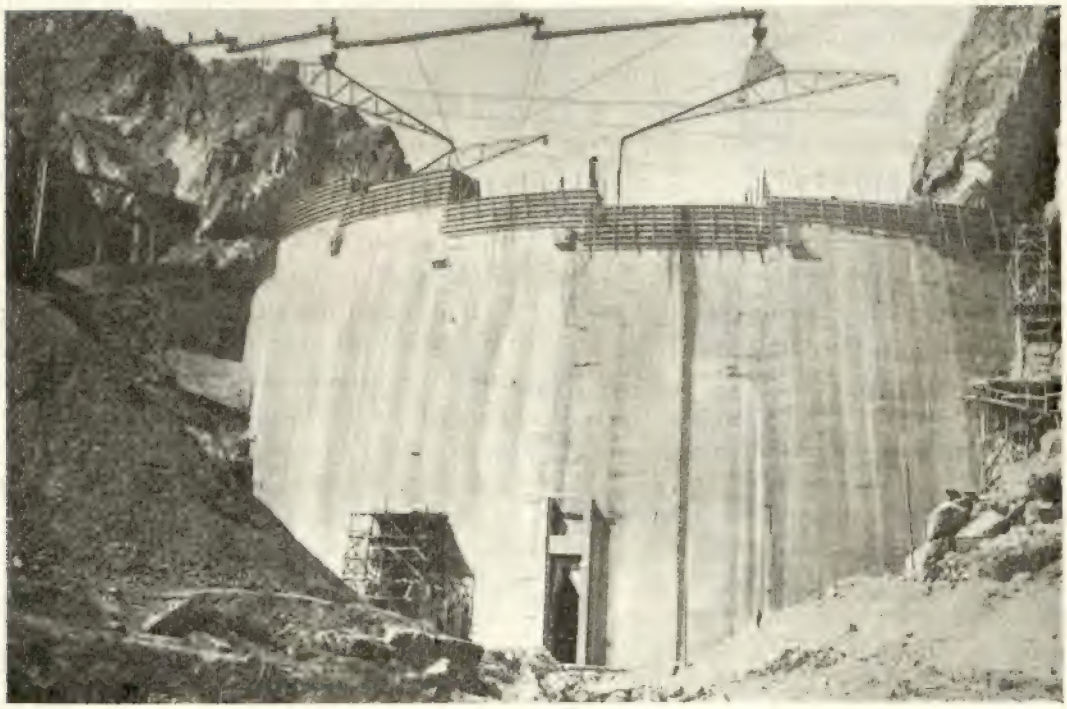


Fig. 1
Vista do lado montante da barragem

Dentro do plano geral de excursões de estudo, estabelecido pelo Instituto para o curso de engenharia civil, os alunos do 6.º ano tiveram ocasião de visitar várias obras em construção. Entre elas destacamos, pelo seu interêsse e importância, as seguintes: Viaduto de Alcântara, Ponte de Angeja (Aveiro), Barragem de Santa Luzia.

Vamos tentar descrever neste número, bastante sumàriamente, as principais características desta barragem e obras acessórias.

Para o aproveitamento hidro-eléctrico do rio Pampilhosa, concedido à Companhia Eléctrica das Beiras, está em construção no local de Santa Luzia, uma barragem em abóbada, que ficará sendo a primeira desta natureza e a mais alta que se constróe em Portugal.

Esta barragem com uma altura máxima de 75 m, formará uma albufeira de 40 milhões de metros cúbicos de capacidade. Na

margem esquerda, uma barragem de gravidade serve, a partir de determinada altura, de encontro à barragem principal, ao mesmo tempo que permite fechar uma pequena irregularidade da encosta.

Na fotografia, que encima estas notas, observa-se nìtidamente as disposições das duas barragens.

A tomada de água, situada na margem esquerda da albufeira a 2.500 m a montante da barragem, é formada por uma tôrre em betão armado, munida de uma comporta automática que estabelece, ou interrompe a comunicação da albufeira com um túnel de derivação sob pressão.

Êste túnel, com 230 m de comprido e 3 m² de secção, é totalmente revestido de betão, ligado à rocha por meio de injecções de cimento.

A água da albufeira, é conduzida à central, por uma conduta forçada em chapa de aço soldada, com um comprimento total de 3.470 m e possuindo uma chaminé de equilíbrio, em betão armado, a 1.390 m da sua entrada. Os diâmetros interiores da conduta variam de 1,45 m a 1,80 m.

O aproveitamento das águas represadas, será realizado numa central hidro-eléctrica, situada na margem esquerda da ribeira de Souto, próximo da sua confluência com o rio Zêzere. Nela, prevê-se a instalação duma potência total de 32.000 CV, repartidos por 4 grupos iguais de 8.000 CV, constituídos por turbinas Pelton, que utilizam a plena carga um caudal de 2.200 litros por segundo, sob uma queda média de 312 metros.

Esta instalação permitirá obter uma produção média anual de energia de cêrca de 23 milhões de kWh.

Barragem:

Aproveitando as excelentes condições locais — um maciço de quartzites do silúrico formando uma garganta apertada de encostas sensìvelmente verticais —, o ilustre Eng.º Coyne projectou uma barragem em abóbada, em que o paramento de montante é um cilindro elíptico, e o de jusante, um cone elíptico, tendo ambos uma secção horizontal circular.

Com êste traçado, conseguiu-se que os jorramentos dos paramentos (a montante, junto à margem direita, e a jusante, junto à margem esquerda) fôssem dispostos de tal modo, que aproveitassem da melhor maneira possível as condições de resistência e topográficas que as encostas ofereciam para apoio da abóbada.

Fig. 2

Construção da barragem vista da margem esquerda

Para termos uma idéia da grandeza desta obra, basta observar as suas dimensões principais: a altura máxima é de 75 m com uma crista de 115 m de desenvolvimento e 2,50 m de espessura; a meia altura, a espessura da barragem é de 8,60 m, atingindo na base uma espessura máxima de 13,50 m. O paramento de montante foi traçado com um raio de 60 metros, e o de jusante, com raios que variam de 45,50 m a 57,50 m.

Sôbre a barragem, estabelece-se o evacuador de cheias, que é formado por duas portadas com 5,50 m de largura e 3,50 m de altura, permitindo uma descarga com um caudal de 150 m³ por segundo. O descarregador de fundo, que atravessa a barragem, é constituído por um tubo de aço soldado, com 1,70 m de diâmetro, munido de duas válvulas-borboleta montadas do lado jusante; a entrada, a montante, será devidamente protegida por um gradão de betão armado. Êste descarregador permite evacuar 115 m³ de água por segundo, quando

as águas da albufeira atingem o nível máximo.

A barragem é inteiramente construída em betão pervibrado, com juntas de dilatação,

Fig. 3
Descarregador de fundo provisório

distanciadas de 14,50 m e munidas de chapas de vedação de cobre, do lado de montante e de dispositivos especiais para injecção e reinjecção de cimento, colocados nos dois lados.

Fabrico do betão. Betonagem:

Em obras desta natureza, vários são os factores que se devem considerar com o maior cuidado, mas, entre êles, devem ser objecto duma atenção especial os que se referem ao estudo da granulometria, e das condições de estanquidade e resistência, assim como, do fabrico, transporte e colocação do betão.

Estes estudos foram tratados, na barragem de Santa Luzia, com um cuidado muito especial, do qual vamos dar uma ligeira idéia.

Adoptaram-se as dosagens de cimento de 300 kgs/m3, numa estreita faixa de 1,5 m de espessura média, ao longo do paramento de montante, e o de 250 kg para o restante da obra.

Utilizaram-se para materiais inertes, as quartzites locais e a areia do rio Zêzere. Para a extracção e transporte desta areia, instalou-se uma draga no rio Zêzere e um cabo aéreo transportador que estabelece a ligação do local de extracção com a barragem.

O cimento é igualmente transportado por um cabo aéreo, da margem direita para a esquerda, local onde se encontram as instalações do fabrico de betão.

A pedra para a brita, extraída a pequena distância do estaleiro, é transportada por um plano inclinado.

Fig. 4
Tôrre metálica com elevador para transporte do betão

Todos estes materiais reünem-se num certo número de instalações destinadas ao fabrico do betão, e que são essencialmente constituídas por britadeiras; moinhos de cilindros e de bolas para obtenção de areia fina; crivos; silos com os respectivos doseadores do volume de materiais; correia transportadora dos materiais inertes, já devidamente doseados, para a betoneira; silos para cimento munidos inferiormente das

respectivas balanças e, duas betoneiras com uma capacidade total de 850 litros.

Para a betonagem, adoptaram-se dispositivos bastante interessantes que se podem observar nas fotografias que acompanham o texto; assim, numa tôrre metálica trabalha um elevador que transporta o betão, e descarrega-o sôbre tapêtes transportadores, suspensos por cabos lançados entre as duas margens. Os distribuidores são formados por caleiras suportadas por asnas, também suspensas em cabos. O betão é, finalmente, lançado na obra, por meio de trombas de elefante de altura variável.

Fig. 5
Dispositivo para a colocação do betão na obra

Durante a sua execução, o fabrico do betão, é convenientemente controlado por ensaios de granulometria das areias, feito de 4 em 4 horas; pela composição granulométrica do material empregado, realizado em cada período de betonagem; pelo tempo da amassadura, que se verifica de quando em quando e, que não deve ser inferior a 1,5 minutos, pela fluidez do betão, medida no cone de Abrams, à saída da betoneira, de meia em meia hora, não devendo o valor do «slump» ultrapassar os limites de 6 a 12 centímetros; pela densidade do betão, determinada em cada período de betonagem, e, finalmente, pela dosagem do cimento, cuja verificação é feita tomando como base o volume médio das amassaduras, determinado a partir do volume do betão em obra.

Quanto aos ensaios de resistência, efectua-se em cada período de betonagem a colheita de uma série de cubos para ensaio de compressão aos 28 dias, de 2 em 2 períodos, colhe-se uma série para ensaios aos 90 dias, e de 10 em 10 períodos, a série colhida será ensaiada ao fim dum ano. Os ensaios à tracção efectuam-se por cada período de betonagem aos 28 dias, e, de 10 em 10 períodos aos 90 dias.

O ensaio de permeabilidade, faz-se no betão da própria barragem, por meio de ensaios de água sob pressões não superiores a 10 kg/cm2, e durante um período de tempo não inferior a uma hora.

Um dos dispositivos mais interessantes que controlam as condições de estabilidade da barragem, consiste no sistema de auscultação das temperaturas e tensões, feitas com aparelhos auscultadores, colocados em regiões da barragem prèviamente determinadas, e ligados, por assim dizer, a uma central de medições, onde se conseguem ler as temperaturas dos vários termómetros, e as tensões a que estão sujeitas as regiões próximas dos aparelhos.

Os aparelhos auscultadores de tensão, colocados na barragem, são essencialmente constituídos por uma corda vibrante que é obrigada a sofrer ás mesmas deformações

Fig. 6
Cofragem dos maciços de betão

que a massa do betão, visto as suas extremidades estarem ìntimamente ligadas com aquela massa.

Dêste modo, a freqüência das vibrações

varia consoante os alongamentos e contracções sofridas pela corda, e por conseguinte pelo betão. A corda é excitada por meio dum electro-iman que recebe uma corrente de fraca intensidade, produzida por um pequeno condensador; as vibrações são transmitidas, pelo mesmo circuito, a um pôsto de escuta, por meio dum amplificador de lâmpadas. Neste pôsto de escuta, é necessário determinar a freqüência do som emitido pela corda. Para êste efeito, basta comparar aquêle som com o produzido por uma corda vibrante padrão (feita em aço como a do aparelho), e cuja freqüência o operador pode variar à sua vontade, variando a tensão a que ela está sujeita. Dêste modo, quando as duas cordas estão unísonas, as tensões a que estão sujeitas são iguais, se elas forem do mesmo comprimento, e proporcionais, se os seus comprimentos forem diferentes.

Consiste, assim, êste método, um processo seguro e cómodo de determinar as tensões, em diversos pontos da barragem.

PUBLICAÇÕES RECEBIDAS

Não periódicas

Subsídios para a História da Montanística, por Joyce Diniz. Ministério da Economia. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos.

Junta Autónoma das Obras de Hidráulica Agrícola — Relatório de 1939-40 — Ministério das Obras Públicas e Comunicações.

Publicações periódicas

PORTUGAL

AGROS — Janeiro-Abril de 1943.

ARQUIVO FINANCEIRO E SEGURADOR — Abril e Maio de 1942.

BOLETIM DA COMISSÃO DE FISCALIZAÇÃO DAS OBRAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA À CIDADE DE LISBOA — 1.º Semestre de 1942.

BROTÉRIA — Julho de 1942.

GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO — N.os 1309 e 1310.

GAZETA DE MATEMÁTICA — Julho de 1942.

INDÚSTRIA PORTUGUESA — Junho de 1942.

JUNTA NACIONAL DA CORTIÇA — Maio e Junho de 1942.

O INSTITUTO — Vol. 100 — Coimbra, 1942.

OCIDENTE — Julho de 1942.

PORTUCALE — Março-Junho de 1942.

REVISTA AGRONÓMICA — N.º 3 — 1942.

REVISTA DE ARTILHARIA — Abril de 1942.

SEARA NOVA — N.os 776 a 778.

SOCIEDADE DE GEOGRAFIA DE LISBOA — Boletim — Março-Abril de 1942.

ALEMANHA

DEUTSCHE TECNIK — Junho de 1942.

EL PROGRESO DE LA INGENIERIA — Maio de 1942.

ESPANHA

CEMENTO — Junho de 1942.

DYNA — Julho de 1942.

REVISTA DE FARMACION Y DOCUMENTACION PROFESIONAL — Janeiro-Fevereiro de 1942.

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS — Julho-1942.

FRANÇA

LA CHRONIQUE DES MINES COLONIALES — 15 de Junho de 1942.

L'ARCHITECTURE FRANÇAISE — Janeiro-Fevereiro de 1942.

TRAVAUX — Maio de 1942.

URBANISME — Fevereiro-Março de 1942.

HUNGRIA

TECHNIKA — Junho de 1942.

ITÁLIA

L'ELECTROTECNICA — Maio e Junho de 1942.

RADIO E TELEVISIONE — Maio de 1942.

REVISTA DEL COTASTO E DEI SERVIZI TECNICI ERARIALI — Janeiro-Fevereiro de 1942.

SUÍÇA

SULZER — N.º 1 — 1942.

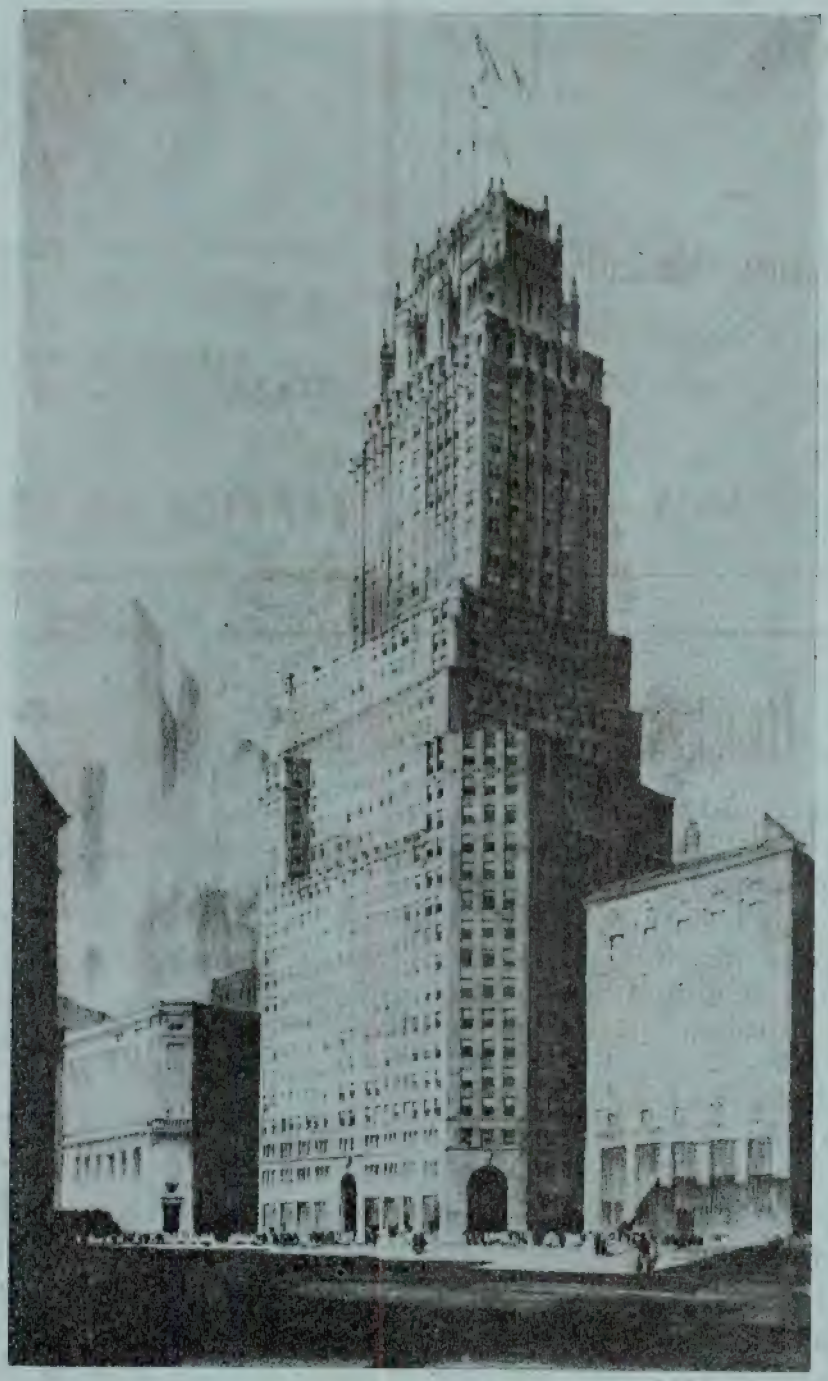
REVUE BROWN BOVERI — Janeiro-Março de 1942.

Standard Electrica

RUA AUGUSTA, 27 LISBOA

Concessionária da

International Standard Electric Corporation



Edificio da Sede

BROAD STREET NEW YORK

Granulados de mármores

para exportação e para o país

Mosaicos de granulados de mármore

OS MAIS BONITOS
OS MAIS RESISTENTES
OS MAIS VANTAJOSOS

Soc. Portuguesa CAVAN

Rua D. Estefania, 42

Telefone 47812 — Lisboa

FILIAL NO PÔRTO:

PRAÇA DA BATALHA, 90, 2.º

EMULSÕES

de asfalto para estradas

Todos os tipos e percentagens

TELEFONE 20879

Telegramas: Epalda — LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

Sondages. Etanchements. Consolidations "Procédés Ródio"

Sondagens geológicas

Estudo da resistência e permeabilidade de terrenos; laboratório geofísico

Consolidação e impermeabilização de terrenos e alvenarias por meio de injecções de cimento, produtos químicos, emulsão betuminosa Shellperm, etc.

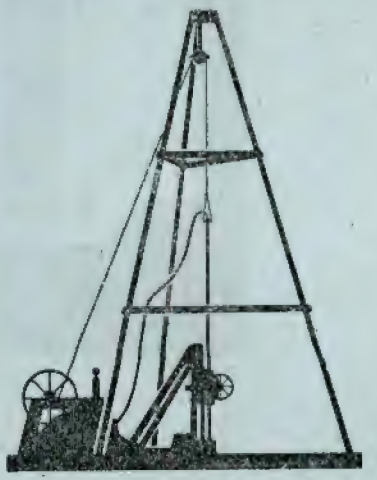
Estacas de beton armado, sistema **Ródio** sem fazer trepidar o solo

Rebocos comprimidos por «cement gun»

Fundações em terrenos difíceis por congelação artificial, ou baixando o nível da água friática.

Sociedade Anónima com séde em PARIS

As melhores referências no paiz e no estrangeiro



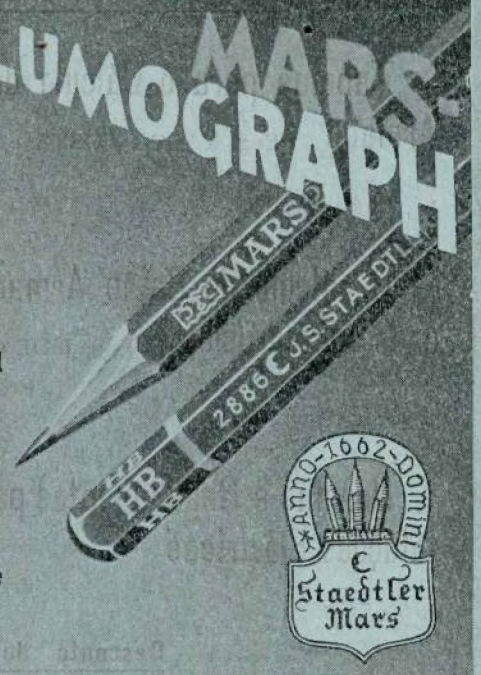
Engenheiro delegado para Portugal

Walter Weyermann

P. do Município, 32-2.º--LISBOA Tel. 28685

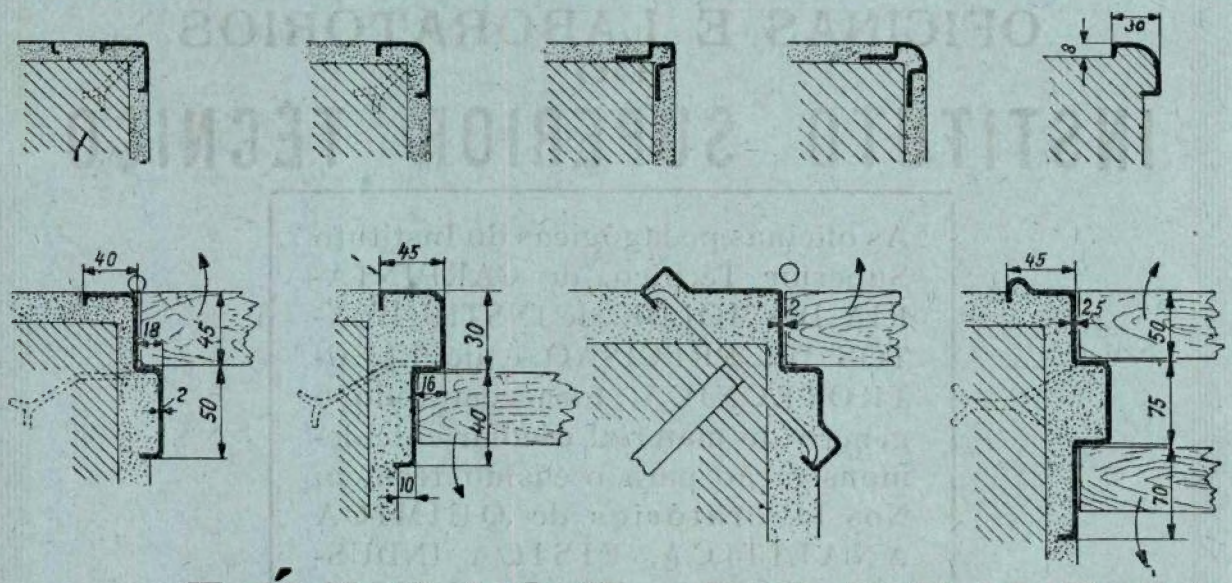
As caracteristicas inexcediveis do lapis MARS-Lumograph para desenho e cópias heliográficas, unico com a propriedade de absorver a luz, patenteado, são as seguintes:

1. Prêto intenso e traço opaco
2. Desgaste minimo
3. Traço indelevel no mais alto grau possivel
4. Graduações bem escalonadas e sempre iguaes
5. Traço de facil apagar
6. Mina muito resistente contra quebra
7. Mina que desliza esplendidamente sobre o papel



Fabrica de Lapis MARS Nurnberg

ALGUNS EXEMPLOS DOS PERFIS QUE SE PODEM REALIZAR



LISBOA **FÁBRICA PORTUGAL**

FABRICAÇAO DE PERFIS DE CHAPA PARA TODOS OS GENEROS DE TRABALHOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL

UMA REVOLUÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL

Publicações da TÉCNICA

Tabelas para o Cálculo do Betão Armado Eng. VASCO COSTA
Preço 35$00

O cálculo de Betão Armado aplicado aos edifícios Eng. J. DE CANG
Preço 95$00

Normas e Regulamentos para Instalações Eléctricas
Preço 16$00

Ábacos para o Cálculo de Betão Armado Eng. VASCO COSTA
Preço 3$00

Cálculo dos Colectores de esgoto de secção ovoide Eng. José Gomes Alvarez
Preço 6$00

Pontos Modelos de exames de aptidão ao I. S. T. Preço 9$00

Regulamento de Pontes Metálicas
Preço 6$00

Desconto de 10 % aos nossos assinantes

A' venda na redacção da TECNICA

OFICINAS E LABORATÓRIOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva

EMPRÊSA DE SONDAGENS E FUNDAÇÕES, L.DA

COM

Eng. Ricardo E. Teixeira Duarte

(um quarto de século de especialização técnica)

Sondagens geológicas

—

Poços artezianos

—

Rebaixamentos do nível freático

—

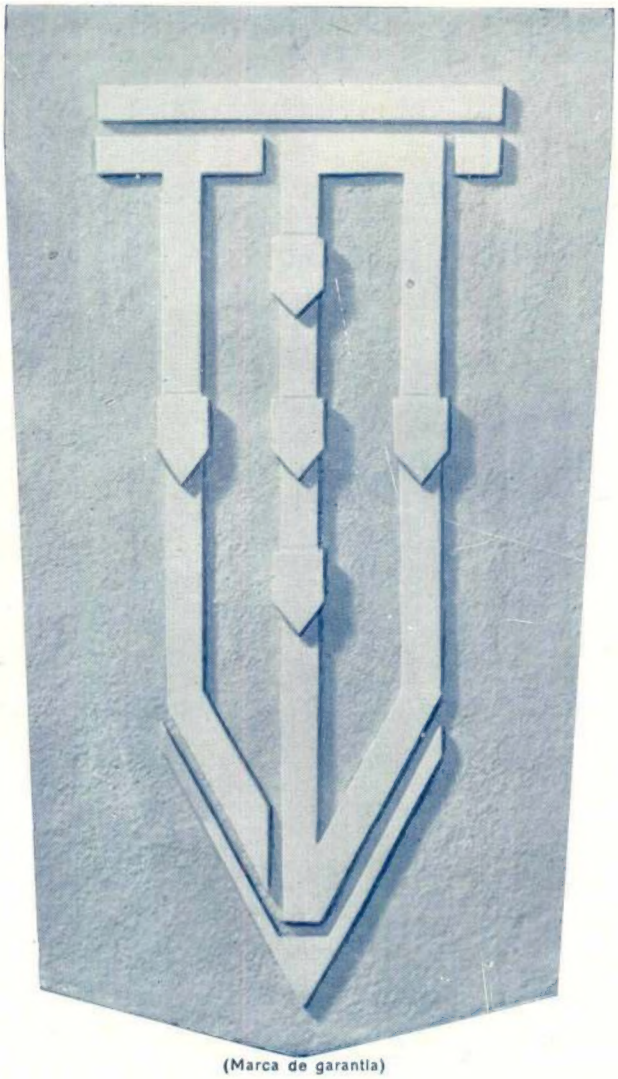
Consolidações do solo

—

Impermeabilização de rochas

—

Captações de água subterrânea



(Marca de garantia)

Fundações de todos os géneros

—

Alicerces económicos

—

Estacas de todos os tipos

—

Consolidação de más fundações

—

Obras hidráulicas

—

Obras subterrâneas

LISBOA — RUA AUGUSTA, 280, 3.º E 4.º

TELEFONE 2 3962

SOCIEDADE ANÓNIMA

BROWN, BOVERI & CIE.

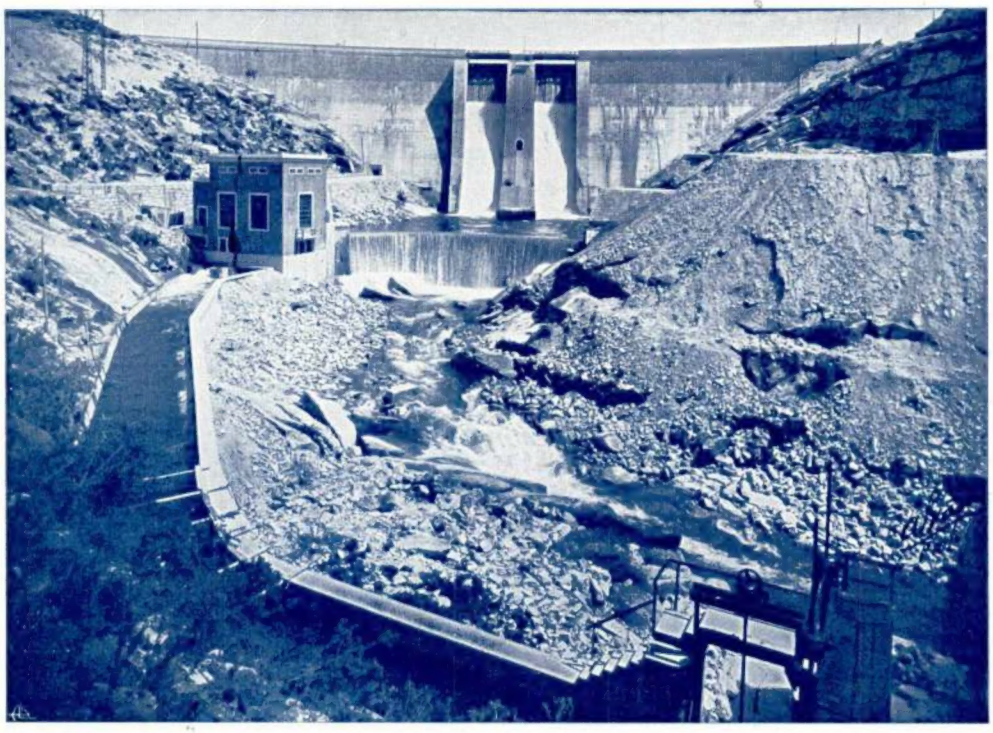
BADEN (SUISSA)

Representante geral para Portugal e Colónias:

EDOUARD DALPHIN

Escritório Técnico: Rua de Passos Manuel, 191, 2.º // PORTO // Tel. 2 411

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diessel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem, Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, etc.



Barragem do Ermal, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal, com 20 milhões de metros cúbicos de capacidade da albufeira. Na parte central, duas comportas automáticas, da casa construtora «Ateliers des Charmilles», de 9 × 5 metros, para a evacuação das cheias. Em baixo, a central automática de Guilhofrei (I) com uma turbina vertical tipo Kaplan (Ateliers des Charmilles) de 2750 cavalos e o canal de condução da água à central do Ermal (central II) com uma turbina vertical tipo Francis de 6250 cavalos (Ateliers des Charmilles) e duas horizontais (Escher-Wyss) de 500 e 1500 cavalos. Tôda a parte eléctrica (alternadores, transformadores, aparelhos de 2000 e 30000 Volts) da casa BROWN, BOVERI & Cie.